



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2024 Том 19 № 2

**Факторы устойчивой продуктивности животных:
от геномики до терапии**

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2
agrojournal.rudn.ru

Научный журнал
Издается с 2006 г.

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

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

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

Пакина Е.Н., д-р биол. наук,
директор 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 Тушин, Витербо, Италия

Васильев А.А., д-р биол. наук, проф., МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, РФ

Гинс М.С., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., ФНЦО Овощеводства РАН, Московская обл., РФ

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

Ковес Д., PhD, проф., Университет Аристотеля г. Салоники, Салоники, Греция

Коцаев 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

Мохамади-Неджад Г., д-р биол. наук, проф., Университет Шахида Бахонара в Кермане, Керман, Иран

Никитченко Д.В., д-р биол. наук, проф., ОМПК, Москва, РФ

Новиков А.Е., д-р тех. наук, доц., ВолГТУ, Волгоград, РФ

Овчинников А.С., д-р с.-х. наук, чл.-кор. РАН, ВолГАУ, Волгоград, РФ

Пивоваров В.Ф., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ ФНЦО, Московская обл., РФ

Пименов Н.В., д-р биол. наук, проф., проф. РАН, МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, РФ

Плескачев Ю.Н., д-р с.-х. наук, проф., ФИЦ «Немчиновка», Московская обл., РФ

Плющиков В.Г., д-р с.-х. наук, проф., РУДН, Москва, РФ

Соловьев А.А., д-р биол. наук, проф. РАН, проф., ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, РФ

Сычёв 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

Юлдашбаев Ю.А., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ

Юсефи М., канд. биол. наук, доц., РУДН, Москва, РФ

Вестник Российского университета дружбы народов.
Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

ISSN 2312–7988 (online); 2312–797X (print)

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 исследований 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. Агрехимия, 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*
Компьютерная верстка *М.В. Рогова*

Адрес редакции:
115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3
Тел.: (495) 955-07-16; e-mail: publishing@rudn.ru

Почтовый адрес редакции
117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2
Тел.: (495) 434-70-07; e-mail: agroj@rudn.ru

Подписано в печать 23.07.24. Выход в свет 26.07.2024. Формат 70×100/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Tinos, Roboto».
Усл. печ. л. 16,30. Тираж 500 экз. Заказ № 615. 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. (495) 952-04-41; publishing@rudn.ru



RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

2024 VOLUME 19 No. 2

**Factors of sustainable animal productivity:
from genomics to therapy**

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2
agrojournal.rudn.ru
Founded in 2006

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

EDITOR-IN-CHIEF

Yuriy A. Vatnikov,

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

E-mail: vatnikov-yua@rudn.ru

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Elena N. Pakina,

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

E-mail: pakina-en@rudn.ru

EXECUTIVE SECRETARY

Evgeniy V. Kulikov,

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

E-mail: kulikov-ev@rudn.ru

EDITORIAL BOARD MEMBERS

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

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

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

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

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. Kuznyakov — 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 2312–7988 (online); 2312–797X (print)

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*
Computer design *M.V. Rogova*

Address of the Editorial Board:
3 Ordzhonikidze St, 115419 Moscow, Russian Federation
Ph. +7 (495) 952-04-41
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) 952-04-41; e-mail: publishing@rudn.ru

Содержание

Растениеводство

Булахтина Г.К., Кудряшова Н.И., Хюпинина Е.В.

Сравнительная характеристика сортов люцерны изменчивой и посевной различного эколого-географического происхождения в агроклиматических условиях Северного Прикаспия 201

Дягилева А.Б., Михайлова С.Б., Смирнова А.И.

Оценка ростостимулирующей активности веществ коросодержащих сточных вод деревообрабатывающих предприятий211

Малкова Т.С., Демьянова-Рой Г.Б. Влияние препаратов различного спектра действия на урожайность мини-клубней картофеля сортов Ариэль и Садон

в условиях защищенного грунта 228

Скорыходов В.Ю. Продуктивность кормовых монокультур и возделываемых в севообороте в условиях степной зоны Южного Урала 239

Ярцева М.А., Кременецкая И.П., Иванова Л.А., Слуковская М.В.

Влияние термовермикулита на рост и развитие овощных культур на ювенильном этапе онтогенеза..... 250

Агротехнологии и мелиорация земель

Сидаренко Д.П. Динамика основных климатических показателей и их влияние на характер эрозионных процессов в условиях

центральной части Ростовской области..... 269

Озеленение населенных пунктов

Ромзайкина О.Н., Бубушян А.А., Щукин И.С., Васнев В.И. Оценка эффекта применения природоподобных решений в управлении ливневыми водами

на примере бывшей промышленной зоны в г. Москве..... 281

Тишкина Е.А., Семкина Л.А., Шевелина И.В. Особенности внедрения

Acer negundo L. в лесные парки г. Екатеринбурга 302

Морфология и онтогенез животных

Петряева А.В., Кузнецов В.И., Ткачев А.В., Ткачева О.Л. Особенности

гормонального профиля котов российской селекции..... 314

Генетика и селекция животных

Худякова Н.А., Щипакова Е.Н., Кашин А.С. Влияние полиморфизма гена LGB на показатели молочной продуктивности коров холмогорской породы 324

Ветеринария

Бяхова В.М., Петрухина О.А., Нотина Е.А., Быкова И.А.

Клинико-инструментальные особенности кардиоренального синдрома у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек..... 337

Ленченко Е.М., Толмачева Г.С., Куликов Е.В.

Морфофункциональные показатели иммунной системы цыплят при диссеминации бактерий *Pseudomonas aeruginosa* 349

Родионова Н.Ю., Руденко П.А., Сотникова Е.Д., Прозоровский И.Е., Шопинская М.И., Кротова Е.А., Семенова В.И.

Чувствительность к антибиотикам и фитобиотикам инициаторов острой катаральной бронхопневмонии у телят..... 358

Сачивкина Н.П., Нечет О.В., Гашимова И.С., Кондратьева Д.В., Сахно Н.В.

Действие фарнезола на чувствительность микроорганизмов из бактериально-грибковой биопленки к антимикробным средствам *in vitro*..... 370

Шмидт А.В., Рысцова Е.О., Иолчиев Б.С., Чубенко Т.В.

Влияние бактериальной контаминации на биологическую полноценность сперматозоидов у хряков 383

Contents

Crop production

- Bulakhtina G.K., Kudryashova N.I., Hyupinina E.V.** Comparative characteristics of *Medicago × varia* and *Medicago sativa* cultivars of various ecological and geographical origin cultivated in the Northern Caspian 201
- Dyagileva A.B., Mikhailova S.B., Smirnova A.I.** Evaluation of growth-stimulating activity of substances contained in bark-containing wastewater from woodworking industry211
- Malkova T.S., Demyanova-Roy G.B.** The effect of chemicals with various spectrum of action on yield of potato mini-tubers cv. Ariel and cv. Sadon grown in protected ground 228
- Skorokhodov V.Y.** Productivity of fodder crops cultivated in monoculture and crop rotation in steppe zone of the Southern Urals 239
- Yartseva M.A., Kremenetskaya I.P., Ivanova L.A., Slukovskaya M.V.** The effect of thermovermiculite on the early stages of vegetable growth and development..... 250

Agricultural technologies and land reclamation

- Sidarenko D.P.** Dynamics of main climatic indicators and their influence on erosion processes in central part of Rostov region 269

Landscaping of settlements

- Romzaykina O.N., Bubushyan A.A., Shchukin I.S., Vasenev V.I.** The effects of implementation of nature-based solutions in stormwater management for the case of a former industrial zone in Moscow..... 281
- Tishkina E.A., Semkina L.A., Shevelina I.V.** Features of *Acer negundo* L. distribution in forest parks of Ekaterinburg 302

Morphology and ontogenesis of animals

- Petryaeva A.V., Kuznetsov V.I., Tkachev A.V., Tkacheva O.L.** Features of hormonal profile in cats of Russian breeds 314

Genetics and selection of animals

Khudyakova N.A., Shchipakova E.N., Kashin A.S. The effect of LGB gene polymorphism on milk productivity indicators of Kholmogorsky cows 324

Veterinary science

Byakhova V.M., Petrukhina O.A., Notina E.A., Bykova I.A.
Clinical and instrumental features of cardiorenal syndrome in patients with feline hypertrophic cardiomyopathy 337

Lenchenko E.M., Tolmacheva G.S., Kulikov E.V.
Morphofunctional parameters of the immune system of chickens after dissemination of bacteria *Pseudomonas aeruginosa* 349

Rodionova N.Y., Rudenko P.A., Sotnikova E.D., Prozorovskiy I.E., Shopinskaya M.I., Krotova E.A., Semenova V.I. Sensitivity of the initiators of acute catarrhal bronchopneumonia in calves to antibiotics and phytobiotics 358

Sachivkina N.P., Nechet O.V., Gashimova I.S., Kondrateva D.V., Sakhno N.V.
The effect of Farnesol on sensitivity of microorganisms from bacterial-fungal biofilm to antimicrobial agents *in vitro* 370

Schmidt A.V., Rystsova E.O., Iolchiev B.S., Chubenko T.V. The effect of bacterial contamination on the biological integrity of sperm in boars 383



Растениеводство Crop production

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-201-210

EDN: KDXNZH

УДК 633.2.033.2:633.31

Научная статья / Research article

Сравнительная характеристика сортов люцерны изменчивой и посевной различного эколого-географического происхождения в агроклиматических условиях Северного Прикаспия

Г.К. Булахтина , Н.И. Кудряшова ✉, Е.В. Хюпинина Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук,
Астраханская область, Российская Федерация
✉ stone79.79@list.ru

Аннотация. Для восстановления сильно деградированных малопродуктивных естественных кормовых угодий, увеличения кормовой ценности, создания многолетних культурных пастбищ и сенокосов, а также предотвращения эрозии почв в аридных регионах России необходимо изучать адаптивный потенциал различных видов и сортов люцерны и использовать для рекультивации высокопитательные, высокоурожайные, засухоустойчивые, зимостойкие сорта, способные произрастать в экстремальных условиях. Цель исследования — адаптационная оценка и подбор сортов и видов люцерны для использования в реставрации аридных деградированных пастбищных экосистем в полупустынной зоне юга России. В однофакторном полевом опыте в 2020–2021 гг. изучили 44 сортабразца люцерны из коллекции ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова». Исследования проводили в соответствии с методиками А.И. Иванова и др., 1985; Б.А. Доспехова, 1985; И.Г. Грингофа, Ю.С. Лынова, 1991; ВНИИ кормов, 2015. По результатам второго года конкурсного испытания люцерны для изучения на втором этапе выделили 29 образцов, превысивших показатели стандарта по продуктивности зеленой массы

© Булахтина Г.К., Кудряшова Н.И., Хюпинина Е.В., 2024

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

и семян, в т.ч. и несущественные. Лучшими по урожайности зеленой массы в сравнении со стандартом выделены только 6 образцов: люцерна изменчивая Пестрая 57, Приуральская, Кизлярская; люцерна посевная Каракалпакская 37, Каракалпакская 15, Mex-Son. Из 43 изучаемых образцов 19 превысили семенную продуктивность стандарта на 9,0...154,9 г/м², но существенно выше были показатели только у 9 образцов (люцерна посевная Kust, King, Zia, Каракалпакская 37, Иртышская; люцерна изменчивая Карагандинская 1; Кизлярская, Кизлярская синегибридная, Флора 2). Два образца: люцерна изменчивая Кизлярская и люцерна посевная Каракалпакская 37 — показали достоверное превышение по сравнению со стандартом и по урожайности зеленой массы, и по семенной урожайности. Планируется продолжить изучение выделенных образцов для использования их в селекционной работе.

Ключевые слова: бобовые травы, коллекция люцерны, пастбищные экосистемы, урожайность

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

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

История статьи: поступила в редакцию 22 января 2023 г., принята к публикации 19 декабря 2023 г.

Для цитирования: Булахтина Г.К., Кудряшова Н.И., Хюпинина Е.В. Сравнительная характеристика сортов люцерны изменчивой и посевной различного эколого-географического происхождения в агроклиматических условиях Северного Прикаспия // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 201—210. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-201-210

Comparative characteristics of *Medicago × varia* and *Medicago sativa* cultivars of various ecological and geographical origin cultivated in the Northern Caspian

Galina K. Bulakhtina , Natalya I. Kudryashova  , Ekaterina V. Hyupinina 

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

 stone79.79@list.ru

Abstract. In order to restore heavily degraded unproductive natural fodder lands, increase fodder value, create perennial cultivated pastures and hayfields, prevent soil erosion in arid regions of Russia, it is necessary to study the adaptive potential of various species and varieties of alfalfa and use highly nutritious, high-yielding, drought-resistant, hardy varieties for reclamation that are able to grow in extreme conditions. The aim of the work was to conduct an adaptation assessment and selection of alfalfa varieties and species for use in the restoration of arid degraded pasture ecosystems in the semi-desert zone of southern Russia. In one-factor field experiment conducted in 2020–2021, 44 alfalfa varieties from the collection of Vavilov Institute of Plant Genetic Resources were studied. The experiments were carried out in accordance with the methods of Ivanov A.I. et al., 1985; Dospikhov B.A., 1985; Gringof I.G., Lynov Y.S., 1991; Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, 2015. According to the results of the second year of competitive testing, 29 accessions of alfalfa which exceeded standard indicators for productivity of green mass and seeds were selected for further study. Only 6 accessions were identified as the best in green mass yield compared to the standard (hybrid alfalfa Pestraya 57, Priuralskaya, Kizlyarskaya; alfalfa Karakalpakskaya 37, Karakalpakskaya 15, Mex-Son). 19 accessions exceeded seed productivity of the standard by 9.0...154.9 g/m², and 9 accessions had significantly higher indicators (alfalfa Kust, King, Zia, Karakalpakskaya 37, Irtyshskaya; hybrid alfalfa Karagandinskaya 1, Kizlyarskaya, Kizlyarskaya sinегibridnaya, Flora 2). Two accessions — hybrid alfalfa Kizlyarskaya and alfalfa

Karakalpakskaya 37 — significantly exceeded standard indicators (green mass and seed). In the future, we plan to continue studying the two accessions for use in breeding.

Key words: legumes, alfalfa collection, pasture ecosystems, productivity

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

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

Article history: Received: 22 January 2023. Accepted: 19 December 2023.

For citation: Bulakhtina GK, Kudryashova NI, Hyupinina EV. Comparative characteristics of *Medicago × varia* and *Medicago sativa* cultivars of various ecological and geographical origin cultivated in the Northern Caspian. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):201—210. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-201-210

Введение

Многолетние травы являются самым оптимальным и доступным ресурсом для улучшения почвенного плодородия и поддержания его на должном уровне. Также они решают проблему сбалансированной кормовой базы в современном животноводстве, которая, в свою очередь, является одним из основных факторов успешного развития многих сельскохозяйственных предприятий [1–4].

В Астраханской области свыше 50 % всей площади занимают пастбища. На данный момент бóльшая их часть представляет собой деградированные полупустынные фитоценозы. Аридизация климата и высокие животноводческие нагрузки привели к выпадению кустарников и полукустарников, исчезновению многих видов трав, в т. ч. и из семейства Бобовые. Использование многолетних бобовых трав в улучшении аридных кормовых экосистем — один из основных путей биологизации земледелия — оказывает решающее влияние на поддержание бездефицитного баланса гумуса, снижает потребность в минеральном азоте, улучшает фитосанитарное и агрофизическое состояние почв [5–8].

Наибольшую ценность из бобовых в нашем регионе представляет люцерна. В качестве кормового растения люцерна возделывается уже несколько тысячелетий во многих странах мира [9–11]. Это многолетнее растение, надземная масса которого обладает высокой питательной ценностью, так как содержит большое количество белков, кальция, каротин и еще множество полезных макро- и микроэлементов, важных для полноценного роста и развития сельскохозяйственных животных. Поэтому для восстановления сильно деградированных и увеличения кормовой ценности малопродуктивных естественных кормовых угодий, создания многолетних культурных пастбищ, а также предотвращения эрозии почв в аридных регионах России необходимо изучать адаптивный потенциал различных видов и сортов люцерны, которые в дальнейшем можно использовать для рекультивации [12–15].

Цель исследования — провести адаптационную оценку и подобрать сорта и виды люцерны для использования в реставрации аридных деградированных пастбищных экосистем в полупустынной зоне юга России.

В задачи исследования входило:

- изучение биологической продуктивности люцерны изменчивой и посевной в почвенно-климатических условиях региона исследования;
- изучение семенной продуктивности люцерны изменчивой и посевной в почвенно-климатических условиях региона исследования;
- отбор высокопродуктивных образцов люцерны посевной и изменчивой, адаптированных к почвенно-климатическим условиям Прикаспийского региона.

Материалы и методы исследования

Однофакторный полевой опыт заложили в 2020 г. За два года исследований изучили 44 сортообразца люцерны из коллекции ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова».

Исследования проводили в соответствии с методиками А.И. Иванова и др.¹, Б.А. Доспехова², И.Г. Грингофа, Ю.С. Лынова³, ВНИИ кормов⁴.

Способ посева — широкорядный, площадь одной делянки — 0,7 м², между-рядье — 0,7 м, общая площадь под один вид — 1,4 м². Посев проводился в двух вариантах: на зеленую массу и семена. Стандарт высевался через 5 образцов. Норма высева на 1 м² — 1 г. Размещение делянок рендоминизированное.

Результаты исследования и обсуждение

Посев коллекции люцерны проводился 23.03.2020 г. На рост и урожайность многолетних трав влияют продуктивные запасы почвенной влаги, поступающие атмосферные осадки, температурный режим воздуха и почвы, относительная влажность воздуха и многое другое. Оптимальной для этих сельскохозяйственных культур является температура воздуха на уровне +18...+25 °С. Первый год исследований (2020 г.) по степени увлажнения за вегетацию оценивается как слабозасушливый — гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК) составил 1,1. Максимальная температура отмечена в мае и июне и составила 33,7 и 39,1 °С соответственно. Минимальные значения относительной влажности зафиксированы в апреле и июне — 12 и 8% соответственно. За всю вегетацию люцерны (от всходов до осеннего отмирания) осадков выпало 78,8 мм, максимальное количество за месяц отмечено в мае — 49,5 мм.

Анализ полученных на Черноярской метеостанции данных показал, что 2021 г. исследования в сравнении со среднемноголетними данными характеризуется как

¹ Изучение коллекции многолетних кормовых растений: (методические указания) / сост.: А.И. Иванов, А.В. Бухтеева, З.П. Шутова, И.А. Тихомирова, Ю.Д. Сосков, А.А. Синякова, Э.Я. Базылев; под ред. А.И. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. им. Н.И. Вавилова. Л.: ВИР, 1985. 47 с.

² Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2011. 350 с.

³ Грингоф И.Г., Лынов Ю.С. Методическое пособие по фенологическим наблюдениям. Л., 1991. 201 с.

⁴ Методика эффективного освоения многовариантных технологий улучшения сенокосов и пастбищ в Северном природно-экономическом районе / ред. А.А. Кутузова, К.Н. Привалова, Н.И. Георгиади. М.: Угрешская типография, 2015. 68 с.

более теплый, но достаточно влажный. Среднегодовая температура превысила среднемноголетнюю на 2,7 °С. И в основном кривая температуры 2021 г. повторила изменения среднегодовой, с отличием в январе, когда было теплее на 14,5 °С. График осадков, выпавших в 2021 сельскохозяйственном году, показал, что начало вегетационного периода отмечено обильными осадками (март — 87,2 мм), которые, хотя и в меньшей степени, но присутствовали вплоть до июля, что для полупустынной зоны — очень редкое явление. Однако, в июле и августе, когда были отмечены температурные максимумы (40,8 и 40,2 °С соответственно), сумма осадков приблизилась к минимуму (5,7 мм в августе). Сентябрь также добавил влаги в почву для поздневегетирующих растений (47,5 мм), что в итоге дало основания определить метеоусловия данного года как хорошие. При этом ГТК периода октябрь 2020 г. — сентябрь 2021 г. составил 0,43, что определило уровень влагообеспеченности как слабо увлажненный. Показатели динамики продуктивной влаги в почве подтверждают и добавляют данные по условиям вегетации опытных растений. Таким образом, в период всходов, роста и развития растений в слое почвы 0–0,5 м было вполне достаточно продуктивной влаги, ее значения составили 20,5, 49,5 и 38,4 мм соответственно. В дальнейшем уже окрепшие растения подошли к периоду воздушной и почвенной влаги (июль, август) и хорошо перенесли ее.

Перед срезом зеленой массы для определения урожайности в вегетативную фазу цветения определяли состояние посевов и реакцию растений на засуху по методике Б.А. Доспехова².

Исследование коллекции люцерны показало, что в основном все образцы имели состояние посева хорошее (4 балла) — 57 % и удовлетворительное (3 балла) — 36 %. Реакция на засуху растений была достаточно разнообразна: 32 % — реакция очень слабая (незначительное пожелтение некоторых прикорневых листьев — 1 балл), 64 % — реакция слабая (пожелтение всех прикорневых листьев — 3 балла) и два образца имели среднюю реакцию (5 баллов) — пожелтение прикорневых и нижних стеблевых листьев.

Таким образом, согласно результатам исследования все образцы люцерны достаточно устойчивы к воздушной и почвенной засухе нашего региона.

В фазу цветения люцерны производили срез зеленой массы образцов (табл. 1). Также после созревания семян проводили анализ их урожайности (табл. 2). В таблицах приведены данные только тех образцов люцерны, которые превысили стандарт.

Таблица 1

**Биологическая продуктивность зеленой массы люцерны коллекции ВИР,
ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2-й год жизни**

№ п/п	Название вида, № по каталогу, страна, сорт	Зеленая масса, г/м ²	Отклонение от стандарта
1	Люцерна изменчивая, 48035, РФ, Ростовская 60 – ст.	187,0	–
2	Люцерна посевная, 3177, США, King	225,0	+38,0
3	Люцерна посевная, 3181, США, Kust	205,0	+18,0
4	Люцерна посевная, 6254, Казахстан, Местная	191,0	+4,0
5	Люцерна посевная, 21299, США, Zia	205,0	+18,0

Окончание табл. 1

№ п/п	Название вида, № по каталогу, страна, сорт	Зеленая масса, г/м ²	Отклонение от стандарта
6	Люцерна изменчивая, 26688, Казахстан, Приуральская	251,0	+64,0
7	Люцерна изменчивая, 28458, Казахстан, Карагандинская 1	205,0	+18,0
8	Люцерна изменчивая, 28462, РФ, Кизлярская	242,0	+55,0
9	Люцерна изменчивая, 29566, РФ, Казанская 64/95	207,0	+20,0
10	Люцерна изменчивая, 29573, Казахстан, Тибетская	222,0	+35,0
11	Люцерна изменчивая, 31790, РФ, Забайкалка	198,0	+11,0
12	Люцерна изменчивая, 31885, РФ, Пестрая 57	291,0	+104,0
13	Люцерна изменчивая, 33684, США, Lahontan	222,0	+35,0
14	Люцерна посевная, 35019, США, Uinta	201,0	+14,0
15	Люцерна посевная, 35680, США, Progress	193,0	+6,0
16	Люцерна посевная, 38270, Узбекистан, Каракалпакская 37	248,0	+61,0
17	Люцерна посевная, 38272, Узбекистан, Каракалпакская 15	248,0	+61,0
18	Люцерна посевная, 39961, США, Mex-Son	256,0	+69,0
НСР ₀₅		46,0	

Table 1

**Biological productivity of green mass of alfalfa from the VIR collection,
PAFSC RAS, 2nd year of growing**

No.	Species name, catalog number, country, variety	Green mass, g/m ²	Deviation from the standard
1	Hybrid alfalfa, 48035, Russia, Rostovskaya 60 – st.	187.0	–
2	Alfalfa, 3177, USA, King	225.0	+38.0
3	Alfalfa, 3181, USA, Kust	205.0	+18.0
4	Alfalfa, 6254, Kazakhstan, Mestnaya	191.0	+4.0
5	Alfalfa, 21299, USA, Zia	205.0	+18.0
6	Hybrid alfalfa, 26688, Kazakhstan, Priuralskaya	251.0	+64.0
7	Hybrid alfalfa, 28458, Kazakhstan, Karagandinskaya 1	205.0	+18.0
8	Hybrid alfalfa, 28462, Russia, Kizlyarskaya	242.0	+55.0
9	Hybrid alfalfa, 29566, Russia, Kazanskaya 64/95	207.0	+20.0
10	Hybrid alfalfa, 29573, Kazakhstan, Tibetskaya	222.0	+35.0
11	Hybrid alfalfa, 31790, Russia, Zabaykalka	198.0	+11.0
12	Hybrid alfalfa, 31885, Russia, Pestraya 57	291.0	+104.0
13	Hybrid alfalfa, 33684, USA, Lahontan	222.0	+35.0
14	Alfalfa, 35019, USA, Uinta	201.0	+14.0
15	Alfalfa, 35680, USA, Progress	193.0	+6.0
16	Alfalfa, 38270, Uzbekistan, Karakalpakskaya 37	248.0	+61.0
17	Alfalfa, 38272, Uzbekistan, Karakalpakskaya 15	248.0	+61.0
18	Alfalfa, 39961, USA, Mex-Son	256.0	+69.0
LSD ₀₅		46.0	

Согласно полученным данным (см. табл. 1), урожайность зеленой массы у 17 из 43 сортообразцов люцерны превысила стандарт (187 г/м²); 6 образцов превышение достоверно (выше НСР); максимальная урожайность зеленой массы отмечена у сортообразца люцерны изменчивой Пестрая 57 из Оренбургской области; урожайность зеленой массы сортообразцов люцерны посевной Каракалпакская 37, Каракалпакская 15, Мех-Соп и люцерны изменчивой Приуральская также была высокой (выше стандарта на 60,0 г/м²) и в среднем составила 64,0 т/га.

Таблица 2

**Семенная продуктивность люцерны коллекции ВИР,
ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2-й год жизни**

№ п/п	Название вида, № по каталогу, страна, сорт	Семена, г/м ²	Отклонение от стандарта
1	Люцерна изменчивая 48035, РФ, Ростовская 60 – ст.	0,25	0
2	Люцерна посевная, 3181, США, Kust	13,04	12,79
3	Люцерна посевная, 19913, США, King	0,79	0,54
4	Люцерна посевная, 21299, США, Zia	1,02	0,77
5	Люцерна посевная, 25478, США, New-Mexico 11–1	0,37	0,12
6	Люцерна изменчивая, 26049, США, Ranger	0,40	0,15
7	Люцерна изменчивая, 28458, Казахстан, Карагандинская 1	0,78	0,53
8	Люцерна изменчивая, 28462, РФ, Кизлярская	1,33	1,08
9	Люцерна изменчивая, 28884, Казахстан, Карабалыкская 18	0,62	0,37
10	Люцерна изменчивая, 28902, РФ, Хакасская	0,63	0,38
11	Люцерна изменчивая, 28909, Казахстан, Уральская синяя	0,40	0,15
12	Люцерна посевная, 28125, Казахстан, Иртышская	0,94	0,69
13	Люцерна посевная, 38270, Узбекистан, Каракалпакская 37	0,76	0,51
14	Люцерна посевная, 38272, Узбекистан, Каракалпакская 15	0,34	0,09
15	Люцерна посевная, 39961, США, Мех-Соп	0,40	0,15
16	Люцерна посевная, 39974, США, Роп	0,39	0,14
17	Люцерна изменчивая, 43778, РФ, Кизлярская синегрибридная	1,80	1,55
18	Люцерна изменчивая, 44567, РФ, Флора 2	1,16	0,91
19	Люцерна изменчивая, 45139, РФ, Флора 3	0,44	0,19
20	Люцерна посевная, 48620, РФ, Флора 5	0,50	0,25
НСР ₀₅		0,41	

Table 2

Seed productivity of alfalfa from the VIR collection, PAFSC RAS, 2nd year of growing

No.	Species name, catalog number, country, variety	Seeds, g/m ²	Deviation from the standard
1	Hybrid alfalfa, 48035, Russia, Rostovskaya 60 – st.	0.25	0
2	Alfalfa, 3177, USA, King	13.04	12.79
3	Alfalfa, 3181, USA, Kust	0.79	0.54

End of the table 2

No.	Species name, catalog number, country, variety	Seeds, g/m ²	Deviation from the standard
4	Алфалфа, 21299, USA, Zia	1.02	0.77
5	Алфалфа, 25478, USA, New-Mexico 11–1	0.37	0.12
6	Hybrid alfalfa, 26049, USA, Ranger	0.40	0.15
7	Hybrid alfalfa, 28458, Kazakhstan, Karagandinskaya 1	0.78	0.53
8	Hybrid alfalfa, 28462, Russia, Kizlyarskaya	1.33	1.08
9	Hybrid alfalfa, 28884, Kazakhstan, Karabalykskaya 18	0.62	0.37
10	Hybrid alfalfa, 28902, Russia, Hakasskaya	0.63	0.38
11	Hybrid alfalfa, 28909, Kazakhstan, Ural'skayasinyaya	0.40	0.15
12	Алфалфа, 28125, Kazakhstan, Irtyshskaya	0.94	0.69
13	Алфалфа, 38270, Uzbekistan, Karakalpakskaya 37	0.76	0.51
14	Алфалфа, 38272, Uzbekistan, Karakalpakskaya 15	0.34	0.09
15	Алфалфа, 39961, USA, Mex-Son	0.40	0.15
16	Алфалфа, 39974, USA, Ron	0.39	0.14
17	Hybrid alfalfa, 43778, Russia, Kizlyarskaya sinegibridnaya	1.80	1.55
18	Hybrid alfalfa, 44567, Russia, Flora 2	1.16	0.91
19	Hybrid alfalfa, 45139, Russia, Flora 3	0.44	0.19
20	Алфалфа, 48620, Russia, Flora 5	0.50	0.25
LSD ₀₅		0.41	

Анализ данных табл. 2 показывает, что из 19 сортообразцов, превысивших стандарт по семенной продуктивности, у 9 превышение было достоверным (разница больше НСР). Лучшие показатели по урожайности семян отмечены у трех образцов люцерны изменчивой (Кизлярская синегибридная, Кизлярская, Флора 2) и двух образцов люцерны посевной (Kust, Zia). Сортообразец люцерны изменчивой из Республики Дагестан Кизлярская синегибридная по урожайности семян превысил стандарт в 7,2 раза.

Заключение

По результатам второго года конкурсного испытания люцерны для дальнейшего изучения на втором этапе выделили 29 образцов, которые превысили показатели стандарта по продуктивности зеленой массы и семян, в т. ч. и несущественные. Лучшими по урожайности зеленой массы в сравнении со стандартом признаны только 6 образцов (люцерна изменчивая Пестрая 57, Приуральская, Кизлярская; люцерна посевная Каракалпакская 37, Каракалпакская 15, Mex-Son). Из 43 изучаемых образцов 19 превысили семенную продуктивность стандарта на 9,0...154,9 г м², но существенно выше были показатели только у 9 образцов (люцерна посевная Kust, King, Zia, Каракалпакская 37, Иртышская; люцерна изменчивая Карагандинская 1; Кизлярская, Кизлярская синегибридная, Флора 2). У двух образцов: люцерна изменчивая Кизлярская и люцерна посевная Каракалпакская 37 — отмечено достоверное

превышение по сравнению со стандартом и по урожайности зеленой массы, и по семенной урожайности. В дальнейшем планируется продолжить изучение выделенных образцов для использования их в селекционной работе.

Список литературы

1. Касаткина Н.И., Нелюбина Ж.С., Чураков П.Л. Внедрение перспективных сортов — важный резерв повышения урожая люцерны изменчивой // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: материалы междунар. науч.-практ. конф. М., 2013. С. 188–192.
2. Alaru M., Talgre L., Eremeev V., Tein B., Luik A., Nemvalts A., Loit E. Crop yields and supply of nitrogen compared in conventional and organic systems // *Agricultural and Food Science*. 2014. Vol. 23. № 4. P. 317–326. <https://doi.org/10.23986/afsci.46422>
3. Ma X.T., Liao J.A., Zhao J.F. A meta-analysis of the effects on soil quality in Xinjiang (China) orchards after grass cultivation // *Applied ecology and environmental research*. 2023. Vol. 21. № 3. P. 1891–1902. doi: 10.15666/aeer/2103_18911902
4. Майсак Г.П., Авдеев Н.В., Старцева А.В., Иванова К.Ю. Накопление органического вещества и элементов минерального питания при длительном возделывании многолетних трав на дерновоподзолистой почве Пермского края // *Земледелие*. 2023. № 7. С. 16–19. doi: 10.24412/0044–3913–2023–7–16–19
5. Шамсутдинов З.Ш. Селекция кормовых культур: достижения и задачи // *Сельскохозяйственная биология*. 2014. № 6. С. 36–45. doi: 10.15389/agrobiology.2014.6.36rus
6. Drinkwater L.E., Midega C.A., Awuor R., Nyagol D., Khan Z.R. Perennial legume intercrops provide multiple belowground ecosystem services in smallholder farming systems // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021. Vol. 320. P. 107566. doi: 10.1016/j.agee.2021.107566
7. Епифанова И.В., Тимошкин О.А., Лапина М.Ш. Селекция люцерны для условий лесостепи Среднего Поволжья // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2016. № 6. С. 53–56.
8. Харалгина О.С. Урожайность зеленой массы и продуктивность люцерны изменчивой в северной лесостепи Тюменской области // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 12. С. 110–115. doi: 10.36718/1819–4036–2021–12–110–115
9. Ma X.T., Liao J.A., Zhao J.F. Knowledge mapping of Alfalfa research — a visual analysis using citespace // *Applied ecology and environmental research*. 2023. Vol. 21. № 3. P. 1903–1916. doi: 10.15666/aeer/2103_19031916
10. Mela T., Sormunen-Cristian R., Nickanen V. Experiences of yellow-flowered lucerne (*Medicago falcata* L.) in Finland // *Proceedings of the 16th General meeting of the European Federation*. 1996. P. 515–519.
11. Sottie E., Acharya S., McAllister T., Iwaasa A., Thomas J., Wang Y. Performance of alfalfa sainfoin mixed pastures and grazing steers in western Canada // *The Professional Animal Scientist*. 2017. Vol. 33. № 4. P. 472–482. doi: 10.15232/pas.2016–01560
12. Дедов А.А., Дедов А.В., Несмеянова М.А. Технология возделывания люцерны синей на кормовые цели // *Кормопроизводство*. 2016. № 12. С. 24–27.
13. Нагибин А.Е., Тормозин М.А., Зырянцева А.А. Селекционная работа по люцерне на Среднем Урале // *Аграрный вестник Урала*. 2015. № 7 (137). С. 20–24.
14. Найдович В.А., Найдович Р.И., Малютков М.П. Селекция люцерны в Поволжье // *Бюллетень Ботанического сада Саратовского государственного университета*. 2002. № 1. С. 176–181.
15. Aponte A., Samarappuli D., Berti M.T. Alfalfa–Grass Mixtures in Comparison to Grass and Alfalfa Monocultures // *Agronomy Journal*. 2019. Vol. 111. P. 628–638. doi: 10.2134/agronj2017.12.0753

References

1. Kasatkina NI, Nelyubina ZS, Churakov PL. Introduction of perspective grades — the important reserve increases of the crop of lucerne changeable. In: *Multifunctional adaptive feed production: conference proceedings*. Moscow; 2013. p.188–192. (In Russ.).
2. Alaru M, Talgre L, Eremeev V, Tein B, Luik A, Nemvalts A, Loit E. Crop yields and supply of nitrogen compared in conventional and organic systems. *Agricultural and Food Science*. 2014;23(4):317–326. doi: 10.23986/afsci.46422
3. Ma XT, Liao JA, Zhao JF. A meta-analysis of the effects on soil quality in Xinjiang (China) orchards after grass cultivation. *Applied ecology and environmental research*. 2023;21(3):1891–1902. doi: 10.15666/aeer/2103_18911902
4. Maisak GP, Avdeev NV, Startseva AV, Ivanova KY. Accumulation of organic matter and mineral nutrition elements during long-term cultivation of perennial grasses on soddy-podzolic soil in the Perm region. *Zemledelie*. 2023;(7):16–19. (In Russ.). doi: 10.24412/0044–3913–2023–7–16–19

5. Shamsutdinov ZS. Forage crops selection: progress and challenges. *Agricultural Biology*. 2014;(6):36–45. (In Russ.). doi: 10.15389/agrobiology.2014.6.36rus
6. Drinkwater LE, Midega CA, Awuor R, Nyagol D, Khan ZR. Perennial legume intercrops provide multiple belowground ecosystem services in smallholder farming systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2021;320:107566. doi: 10.1016/j.agee.2021.107566
7. Epifanova IV, Timoshkin OA, Lapina MS. Selection of alfalfa for the forest-steppe conditions of the Middle Volga region. *International agricultural journal*. 2016;(6):53–56. (In Russ.).
8. Kharalgina OS. green mass yield and variable alfalfa productivity in the Tyumen region northern forest-steppe. *Bulletin KrasSAU*. 2021;(12):110–115. (In Russ.). doi: 10.36718/1819–4036–2021–12–110–115
9. Ma XT, Liao JA, Zhao JF. Knowledge mapping of Alfalfa research — a visual analysis using citespace. *Applied ecology and environmental research*. 2023;21(3):1903–1916. doi: 10.15666/aeer/2103_19031916
10. Mela T, Sormunen-Cristian R, Nickanen V. Experiences of the yellow-flowered lucerne (*Medicago falcata* L.) in Finland. *Grassland and Land Use Systems. Proceedings of the 16th General Meeting of the European Grassland Federation, Grado (Gorizia), Italy, September 15–19, 1996*. 1996. p.515–519.
11. Sottie ET, Acharya SN, McAllister T, Iwaasa AD, Thomas J, Wang Y. Performance of alfalfa-sainfoin mixed pastures and grazing steers in western Canada. *The Professional Animal Scientist*. 2017;33(4):472–482. doi: 10.15232/pas.2016–01560
12. Dedov AA, Dedov AV, Nesmeyanova MA. Cultivating alfalfa for fodder production. *Fodder Production*. 2016;(12):24–27. (In Russ.).
13. Nagibin AE, Tormozin MA, Zyryanceva AA. Breeding work with alfalfa in the Middle Urals. *Agrarian bulletin of the Urals*. 2015;(7):20–24. (In Russ.).
14. Naidovich VA, Naidovich RI, Malyutov MP. Alfalfa selection in the Volga region. *Bulletin of botanic garden of Saratov state university*. 2002;(1):176–181. (In Russ.).
15. Aponte A, Samarappuli D, Berti MT. Alfalfa–grass mixtures in comparison to grass and alfalfa monocultures. *Agronomy Journal*. 2019;111:628–638. doi: 10.2134/agnonj2017.12.0753

Об авторах:

Булахтина Галина Константиновна — кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая отделом рационального природопользования, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН», 416251, Российская Федерация, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, д. 8; e-mail: gbulah@mail.ru

ORCID: 0000–0001–8949–8666 SPIN-код: 4070–8492

Кудряшова Наталья Ивановна — кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией лугопастбищных, аридных и пойменных экосистем отдела рационального природопользования, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН», 416251, Российская Федерация, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, д. 8; e-mail: stone79.79@list.ru

Хюпинина Екатерина Викторовна — младший научный сотрудник отдела рационального природопользования, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН», 416251, Российская Федерация, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, д. 8; e-mail: lapinaekaterina_87@mail.ru

ORCID: 0000–0002–3449–8658 SPIN-код: 8350–7854

About authors:

Bulakhtina Galina Konstantinovna — Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department of Environmental Management, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 8 Severny quarter, Solenoye Zaimishche vil., Chernoyarsky district, Astrakhan region, 416251, Russian Federation; e-mail: gbulah@mail.ru

ORCID: 0000–0001–8949–8666 SPIN-code: 4070–8492

Kudryashova Natalya Ivanovna — Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Grassland, Arid and Floodplain Ecosystems, Department of Rational Nature Management, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 8 Severny quarter, Solenoye Zaimishche vil., Chernoyarsky district, Astrakhan region, 416251, Russian Federation; e-mail: stone79.79@list.ru

ORCID: 0000–0003–0195–3869 SPIN-code: 2816–8178

Hyupinina Ekaterina Viktorovna — Junior Researcher, Department of Environmental Management, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 8 Severny quarter, Solenoye Zaimishche vil., Chernoyarsky district, Astrakhan region, 416251, Russian Federation; e-mail: lapinaekaterina_87@mail.ru

ORCID: 0000–0002–3449–8658 SPIN-code: 8350–7854



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-211-227

EDN: KEQGRD

УДК 631.879.34:676

Научная статья / Research article

Оценка ростостимулирующей активности веществ коросодержащих сточных вод деревообрабатывающих предприятий

А.Б. Дягилева¹ , С.Б. Михайлова² , А.И. Смирнова¹ 

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Пожарно-спасательный колледж «Санкт-Петербургский центр подготовки спасателей»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ smirnova_nasty87@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена принципиальная возможность использования в качестве стимуляторов роста для различных культур водной вытяжки из образующейся при переработке древесины коросодержащей массы сточных вод. Предложенное технологическое решение отвечает современным требованиям повышения экологической эффективности предприятий деревообрабатывающей отрасли, способствует расширению спектра товаров, которые могут использоваться в смежных отраслях хозяйственной деятельности, в т. ч. в агропромышленном комплексе для повышения его продуктивности. Приведены исследования по испытанию экстрактивных веществ коросодержащей массы при различном ее разбавлении в качестве стимулятора роста для ряда тестовых культур (мягкая яровая пшеница Рада и кресс-салат Ажур). Особенности слоя камбия древесины заключаются в том, что он содержит в своем составе все необходимые вещества для формирования высших растений и первый подвергается разрушению под действием воды и механических сил при переработке древесины на стадии отделения коры. В связи с этой гипотезой исследовали возможности использования водной вытяжки из коры различных пород древесины в качестве стимуляторов роста. Основная цель исследования — изучение влияния на биометрические показатели выбранных тестовых культур комплекса экстрактивных веществ коры в зависимости от кратности разбавления концентрированного коросодержащего стока, полученного при переработке древесины. Установлено, что специально подготовленные водные экстракты обладают выраженными ростостимулирующими эффектами (достоверное увеличение длины корня на 35...40 %, а ростков — более чем на 42...44 %) и могут применяться в качестве стимуляторов роста при подготовке посевного материала различного назначения. Способ получения стимуляторов роста на основе коросодержащего потока защищен патентом.

© Дягилева А.Б., Михайлова С.Б., Смирнова А.И., 2024



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

Ключевые слова: стимуляторы роста, древесина, коросодержащий поток, водная экстракция коры, технология очистки воды

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

Вклад авторов: С.Б. Михайлова — сбор и обработка материалов; А.Б. Дягилева, А.И. Смирнова — анализ полученных данных, написание текста.

История статьи: поступила в редакцию 5 апреля 2022 г., принята к публикации 13 марта 2024 г.

Для цитирования: Дягилева А.Б., Михайлова С.Б., Смирнова А.И. Оценка ростостимулирующей активности веществ коросодержащих сточных вод деревообрабатывающих предприятий // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 211—227. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-211-227

Evaluation of growth-stimulating activity of substances contained in bark-containing wastewater from woodworking industry

Alla B. Dyagileva¹ , Sofya B. Mikhailova² , Anastasia I. Smirnova¹  

¹St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, *Saint Petersburg, Russian Federation*

²Fire and Rescue College “St. Petersburg Rescue Training Center”, *Saint Petersburg, Russian Federation*

 smirnova_nasty87@mail.ru

Abstract. The possibility of using an aqueous extract of bark-containing mass of wastewater formed during wood processing as growth stimulator for various crops was considered. The proposed technological solution meets the modern requirements to improve the environmental efficiency of enterprises in woodworking industry, contributes to the expansion of the range of goods which can be used in related industries, including the agro-industrial complex to increase its productivity. Studies on testing extractive substances of bark-containing mass at various dilutions as a growth stimulant for a number of test crops (spring common wheat cv. Rada and garden cress cv. Azhur) were carried out. The cambium layer of wood contains all the necessary substances required for higher plants and is most susceptible to destruction under the influence of water and mechanical forces during wood processing at the stage of bark separation. In this regard, the possibility of using aqueous extracts from the bark of various wood species as growth stimulants was investigated. The purpose of the research was to study the effect of a complex of bark extractives on biometric parameters of the test crops depending on the dilution factor of the concentrated bark-containing wastewater from wood processing. It was established that specially prepared aqueous extracts from the bark have pronounced growth-stimulating effects (significant increase in root length by 35...40% and sprouts — by more than 42...44%) and can be used as growth stimulants in seed preparation. The method of producing growth stimulants based on bark-containing wastewater is protected by a patent.

Keywords: growth stimulants, wood, bark-containing wastewater, water extraction of bark, water treatment technology

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

Author contributions: S.B. Mikhailova — data collection and processing; A.B. Dyagileva, A.I. Smirnova — data analyses, text writing.

Article history: Received: 5 April 2022. Accepted: 13 March 2024.

For citation: Dyagileva AB, Mikhailova SB, Smirnova AI. Evaluation of growth-stimulating activity of substances contained in bark-containing wastewater from woodworking industry. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):211–227. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-211-227

Введение

Разработка перспективных технологий, в которых отражены принципы зеленой химии, — наиболее актуальное направление в современном техносферном обществе. Реформа в области обращения с отходами, переход на цифровые технологии контроля качества окружающей среды, в т. ч. сокращения отходов производства, заставляет научное сообщество искать и предлагать технологические решения по эффективному использованию вторичных материалов для получения новых целевых продуктов на их основе. К сожалению, общая база вторичных материалов только создается, поэтому перспективные технологические решения по использованию, как правило, формируются в смежных областях знаний. С технологической точки зрения побочные продукты основного цикла являются отходами, а для других отраслей хозяйства они могут быть продуктами, ценными для повышения эффективности основного производства.

Современные требования по локализации потоков сточных вод, организации водоотведения с учетом современных экологических требований заставляют рассматривать технологию очистки воды как самостоятельное направление в получении новых продуктов целевого назначения. Наиболее привлекательным видом хозяйственной деятельности с этой позиции является водоемкое производство переработки биомассы древесины. Мы остановимся только на технологии выделения коросодержащего потока, которая является наилучшей доступной согласно информационно-технологическому справочнику (ИТС 1–2015)¹. Сегодня практически на каждом предприятии отрасли требуется высокая степень отделения коры от деловой древесины. До настоящего времени коросодержащий поток не рассматривался в технологии переработки биомассы древесины как потенциальное сырье для получения новых продуктов. Реализация этой технологии может быть отнесена к перспективным способам переработки древесины, с помощью которой возможно осуществление восстановления естественных механизмов при рекультивации почв с воссозданием плодородного слоя и продуктивности растительных сообществ.

При взаимодействии воды с древесиной на стадии ее подготовки происходит разрушение слоя камбия, который содержит в своем составе необходимые биологически активные вещества, такие как моно- и полисахариды, фрагменты лигнина, экстрактивные соединения [1], при их различном сочетании обладающие свойствами стимуляции роста растений.

Вектор развития агропромышленного комплекса, который можно отнести к смежной отрасли хозяйственной деятельности воспроизводства и переработки

¹ ИТС 1–2015. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. М., 2015.

древесины, ориентирован на производство органической, экологически чистой продукции². Качество сельскохозяйственной продукции как приоритетное направление развития этой отрасли должно основываться на процессном подходе и вписываться в общую концепцию национальной безопасности страны [2]. В связи с этим использование продуктов на основе воспроизводимого растительного сырья для получения регуляторов роста — актуальное направление исследований, связанное как с комплексной переработкой древесины, так и с получением новых ценных продуктов для агропромышленного сектора. Использование стимуляторов роста, полученных путем первичной переработки природного сырья в виде древесины без использования химикатов, позволит с большой степенью вероятности производить экологически чистую продукцию [3].

Позитивный опыт в использовании коросодержащих отходов в виде компостов отмечается в ряде работ [4–7] с позиции ростостимулирующего эффекта. По всей вероятности, биологически активные вещества, в т. ч. водорастворимые экстрактивные вещества коры, могут оказывать благоприятное влияние на развитие корневой системы различных культур. Однако работы, где исследовались бы возможности этих веществ, выделенных в результате промышленной переработки биомассы древесины для других отраслей промышленности, таких, как жилищно-коммунальное хозяйство, регулирование и рекультивация объектов накопления бытовых отходов, садово-парковое хозяйство, в научной литературе практически отсутствуют. Основная **цель исследования** — изучение влияния экстрактивных веществ коры, полученной при переработке древесины промышленным и лабораторным способами, в качестве нового реагента для стимуляции роста высших растений.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования для оценки ростостимулирующей активности подобрали культуры, используемые в аграрном секторе как для индивидуального, так и для промышленного применения. Использовали кресс-салат Ажур агрофирмы Аэлита и зерновую культуру — яровую мягкую пшеницу сорта Рада урожая 2017 г. Эти культуры можно отнести к стандартным лабораторным тест-объектам для оценки всхожести семенного материала, поскольку они характеризуются быстрым прорастанием³, что и позволило выполнять большое количество воспроизводимых опытов за короткий промежуток времени с получением массива результатов для статистической обработки экспериментальных данных.

В основе исследования лежит метод определения всхожести. Выбранные образцы культур обрабатывали специально подготовленными растворами на основе водных экстрактов коры, полученных в производственном процессе и лабораторных

² Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон Рос. Федерации от 03 августа 2018 г. № 280 ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 25 июля 2018 г.; одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 28 июля 2018 г.

³ ГОСТ Р 52325–2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. М., 2009.

условиях при различной кратности их разбавления. Для определения всхожести смеси семян отсчитывали четыре пробы по 100 семян в каждом опыте. Повтор эксперимента составлял не менее 5 серий при каждом разбавлении.

Проращивание семян осуществляли на фильтровальной бумаге (НБ) белая лента. Семена раскладывали на трех слоях увлажненной бумаги растворами исследуемых стимуляторов роста в чашках Петри. Влажность фильтровальной бумаги, которую контролировали периодически, раз в сутки, составляла 71...75%. Опыт проводился с чередованием света и темноты в режиме светового дня для Северо-Западного региона РФ (март — май) при температуре 20 ± 2 °С. Результаты снимались на седьмые сутки.

Первая модель для обработки семян (М1) представляет собой усредненную пробу сточных вод после корьевого пресса древесно-подготовительного цеха (ДПЦ) при переработке преимущественно хвойных пород древесины. Вторую модель (М2) мы получили в лаборатории по технологии, приближенной к формированию коросодержащей сточной воды ДПЦ¹, где преимущественно использовались лиственные породы древесины. Состав полученных вод согласуется с данными исследований [8, 9].

Как известно [1], при водной экстракции древесины в раствор переходят биологически активные вещества, такие как моно- и полисахариды, фрагменты лигнина, экстрактивные соединения. Суммарную концентрацию органических веществ в полученных моделях оценивали по величинам химического потребления кислорода (ХПК) бихроматным методом, сухому и прокаленному остатку в соответствии с методиками, используемыми в практике контроля сточных вод^{4,5}. Принимали эти показатели как характеристику исходного раствора для отработки технологических решений по его использованию в качестве стимулятора роста. Для удобства сравнения результатов исследования обеих моделей показатели их качества были доведены до соизмеримых величин путем корректировки исходных проб водной вытяжки коросодержащих масс и составили по величинам ХПК и цветности 960 ± 11 мг O_2/dm^3 и 2180 ± 12 ° ПКШ соответственно. Элементный состав абсолютно сухих веществ моделей: С — 49...50%, О — 43...44%, Н — 6%, N — 0,4%, зольность — 0,6...1,2%.

Концентрацию активных компонентов при исследовании ростостимулирующей активности модельных систем задавали в единицах кратности разбавления в диапазоне от 1 до 1000 путем регулирования исходной суммарной величины органических веществ (ХПК) в системах, где в качестве разбавляющей среды использовалась дистиллированная вода.

Результаты экспериментальных наблюдений обрабатывали с помощью компьютерной программы Microsoft Excel 2010. Рассчитывали средние значения длины ростка и корня, тест-объектов и оценивали стандартные отклонения и доверительные интервалы для каждой серии опытов.

⁴ ИСТ 1–2015. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. М., 2015.

⁵ Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон Рос. Федерации от 03 августа 2018 г. № 280 ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 25 июля 2018 г.: одоб. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 28 июля 2018 г.

Результаты исследования и обсуждение

Косвенным методом определяли влияние экстрактивных веществ, выделенных в технологии ДПЦ, в зависимости от кратности их разбавления на прорастание и развитие тестовых культур высших растений.

Исследование действия водной вытяжки после отжима коры показало, что процесс стимуляции семян проявляется в результате активного деления клеток при активизации их метаболизма. Установлено, что обработка семян водным раствором М1 ведет к интенсификации прорастания семян в условиях исследования лабораторной всхожести.

Обработка бумажных фильтров растворами М1 при различном его разбавлении погружным способом перед внесением в чашки Петри семян кресс-салата повысила их всхожесть (табл. 1). При выбранных условиях эксперимента она находилась в пределах 89,8...94,0%. Превышение по отношению к контролю — 2,5...7,1%.

Таблица 1

Влияние на всхожесть семян кресс-салата Ажур стимуляторов роста М1 в зависимости от кратности разбавления

№ серии опытов	Разбавление рабочего раствора М1	Всхожесть, %		Существенность различий t
		$M \pm m$	К контролю	
0	Контроль (разбавляющая вода)	87,6 ± 1,5	—	—
1	10 ⁻⁴	94,0 ± 0,8	+ 7,1	3,9 ≥ 3
2	10 ⁻³	93,2 ± 0,8	+ 6,8	4,2 ≥ 3
4	10 ⁻²	89,8 ± 0,5	+ 2,5	1,3 ≤ 3
5	10 ⁻¹	92,7 ± 0,3	+ 5,7	3,1 ≥ 3
6	10 ^{-0,3}	91,3 ± 0,4	+ 3,8	1,5 ≤ 3
7	10 ⁰	86,7 ± 0,6	-4,7	-2,6 ≤ 3

Table 1

Effect of M1 growth stimulants on germination of garden cress cv. Azhur depending on the dilution factor

№ of series of experiments	Dilution of the working solution M1	Germination, %		Significance of differences t
		$M \pm m$	To control	
0	Control (diluting water)	87.6 ± 1.5	—	—
1	10 ⁻⁴	94.0 ± 0.8	+7.1	3.9 ≥ 3
2	10 ⁻³	93.2 ± 0.8	+6.8	4.2 ≥ 3
4	10 ⁻²	89.8 ± 0.5	+2.5	1.3 ≤ 3
5	10 ⁻¹	92.7 ± 0.3	+5.7	3.1 ≥ 3
6	10 ^{-0,3}	91.3 ± 0.4	+3.8	1.5 ≤ 3
7	10 ⁰	86.7 ± 0.6	-4.7	-2.6 ≤ 3

Наиболее положительный эффект оказали препараты на основе воды ДПЦ модели М1 при разбавлении в 100...10000 раз. Отмечена существенность различий с контрольными показателями $t \geq 3$. При обработке семян стимулятором без разбавления наблюдается ингибирующий эффект: всхожесть ниже, чем в контроле на 4,7%.

Дисперсионным анализом установили достоверность полученных значений (табл. 2 и 3).

Таблица 2

Влияние на биометрические показатели растений кресс-салата Ажур реагента М1 в зависимости от его разбавления

Концентрация с учетом разбавления	Среднее значение, мм		Доверительный интервал, мм	
	Корень	Росток	Корень	Росток
Контроль	4,95	3,64	4,95 ± 0,61	3,64 ± 0,25
10 ⁻⁴	4,84	4,62	4,84 ± 0,36	4,62 ± 0,89
10 ⁻³	5,91	4,05	5,91 ± 1,22	4,05 ± 0,17
10 ⁻²	4,07	3,95	4,07 ± 0,48	3,95 ± 0,22
10 ⁻¹	6,06	4,42	6,06 ± 0,46	4,42 ± 0,19
10 ^{-0,3}	7,49	5,18	7,49 ± 0,53	5,18 ± 1,30
10 ⁰	5,52	3,79	5,52 ± 0,67	3,79 ± 0,30

Table 2

Effect of M1 reagent on biometric indicators of garden cress cv. Azhur depending on the dilution factor

Concentration including dilution	Average length, mm		Confidence interval, mm	
	Root	Sprout	Root	Sprout
Control	4.95	3.64	4.95 ± 0.61	3.64 ± 0.25
10 ⁻⁴	4.84	4.62	4.84 ± 0.36	4.62 ± 0.89
10 ⁻³	5.91	4.05	5.91 ± 1.22	4.05 ± 0.17
10 ⁻²	4.07	3.95	4.07 ± 0.48	3.95 ± 0.22
10 ⁻¹	6.06	4.42	6.06 ± 0.46	4.42 ± 0.19
10 ^{-0,3}	7.49	5.18	7.49 ± 0.53	5.18 ± 1.30
10 ⁰	5.52	3.79	5.52 ± 0.67	3.79 ± 0.30

Таблица 3

Прирост биометрических показателей кресс-салата Ажур при использовании растворов М1 различного разбавления

Концентрация реагента с учетом разбавления	Корень			Росток		
	Прирост, %	Достоверность		Прирост, %	Достоверность	
10 ⁻⁴	97,77	-2,23	Недостоверно	126,92	+26,92	Достоверно
10 ⁻³	119,39	+19,39	Достоверно	111,26	+11,26	Достоверно
10 ⁻²	82,22	-17,78	Достоверно	108,52	+8,52	Достоверно
10 ⁻¹	122,42	+22,42	Достоверно	121,43	+21,43	Достоверно
10 ^{-0,3}	151,31	+51,31	Достоверно	142,31	+42,31	Достоверно
10 ⁰	111,51	+11,51	Достоверно	104,12	+4,12	Достоверно

Table 3

Increase in biometric indicators of 'Azhur' garden cress using M1 solutions of various dilutions

Reagent concentration including dilution	Root			Sprout		
	Increase,%	Reliability		Increase, %	Reliability	
10 ⁻⁴	97.77	-2.23	Unreliable	126.92	+26.92	Reliable
10 ⁻³	119.39	+19.39	Reliable	111.26	+11.26	Reliable
10 ⁻²	82.22	-17.78	Reliable	108.52	+8.52	Reliable
10 ⁻¹	122.42	+22.42	Reliable	121.43	+21.43	Reliable
10 ^{-0.3}	151.31	+51.31	Reliable	142.31	+42.31	Reliable
10 ⁰	111.51	+11.51	Reliable	104.12	+4.12	Reliable

Следует отметить, что в состав модельных композиций не вводили дополнительную минеральную составляющую, а использовали внутренний резерв минеральных веществ, переходящих в водную вытяжку при мокром способе обработке древесины.

На рис. 1 приведены биометрические показатели кресс-салата в сравнении с реперным опытом (контроль).

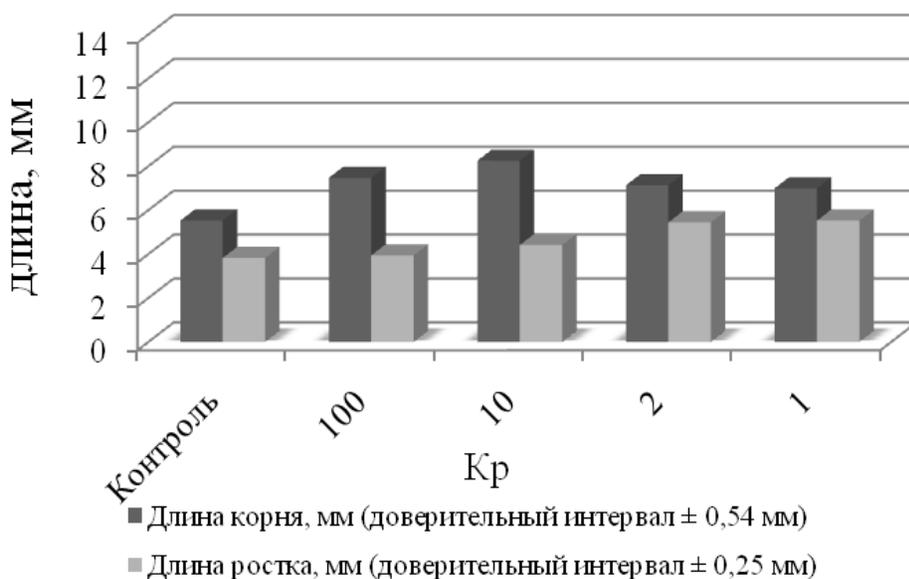


Рис. 1. Биометрические показатели кресс-салата в зависимости от кратности разбавления Кр промышленной водной вытяжки M1

Источник: выполнила С.Б. Михайлова с помощью программы Microsoft Excel

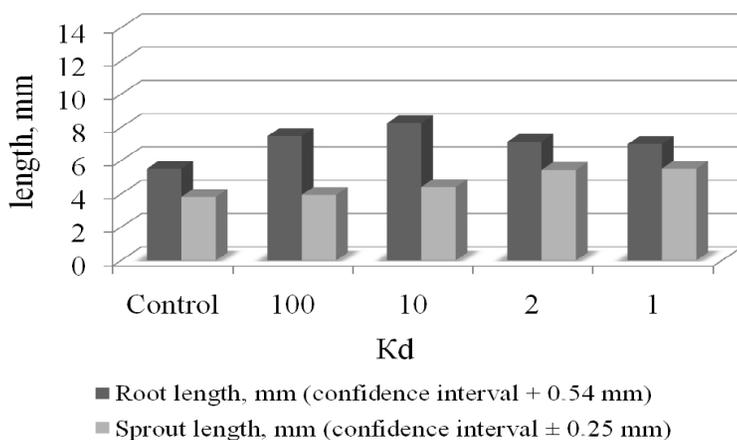


Fig. 1. Biometric indicators of garden cress depending on the dilution factor of industrial water extract M1

Source: created by S.B. Mikhailova using Microsoft Excel

Как видно из приведенных данных, при использовании специально подготовленных растворов на основе промышленной сточной воды М1 обнаруживается увеличение основных биометрических характеристик посевного материала во всех представленных случаях. Кратность разбавления в данном случае не превышала 100 раз. Наибольший эффект по увеличению длины корня отмечается при $K_p = 10$, причем длина ростка в этом случае не существенно отличается от контроля. Следует отметить, что во всех рассмотренных случаях все биометрические показатели по длине корня превышают биометрические показатели по изменению длины ростка. Общий прирост отмечается выше биометрических показателей контрольных образцов, причем развитие корня активно проявляется в диапазоне кратности разбавления до 10 раз, а развитие ростков, напротив, активно происходит при больших концентрациях органической составляющей водного раствора.

В процентном соотношении по сравнению с контрольным образцом использование выбранной модели М1 дает достоверное увеличение длины корня на 35...40 %, а ростков — более чем на 42...44 %.

Аналогичные исследования были проведены по отношению к кресс-салату (семейство крестоцветных рода клоповник *Lepidium sativum*) с использованием водной вытяжки из листовых пород древесины М2, полученной в лабораторных условиях (табл. 4 и 5).

Таблица 4

Влияние реагента М2 на биометрические показатели кресс-салата Ажур

Концентрация реагента при разбавлении	Среднее значение, мм		Доверительный интервал, мм	
	Корень	Росток	Корень	Росток
Контроль	7,79	3,04	7,79 ± 0,587	3,04 ± 0,145
10 ⁻⁴	8,53	3,22	8,53 ± 0,459	3,22 ± 0,115
10 ⁻³	8,036	3,33	8,036 ± 0,466	3,33 ± 0,143
10 ⁻²	8,73	3,32	8,73 ± 0,526	3,32 ± 0,135
10 ⁻¹	9,33	3,052	9,33 ± 0,817	3,052 ± 0,123

Table 4

Effect of M2 reagent on biometric indicators of garden cress cv. Azhur

Reagent concentration after dilution	Average length, mm		Confidence interval, mm	
	Root	Sprout	Root	Sprout
Control	7.79	3.04	7.79 ± 0.587	3.04 ± 0.145
10 ⁻⁴	8.53	3.22	8.53 ± 0.459	3.22 ± 0.115
10 ⁻³	8.036	3.33	8.036 ± 0.466	3.33 ± 0.143
10 ⁻²	8.73	3.32	8.73 ± 0.526	3.32 ± 0.135
10 ⁻¹	9.33	3.052	9.33 ± 0.817	3.052 ± 0.123

При наличии средних значений корня и ростка, а также доверительных интервалов оценивали достоверность полученных результатов в сравнении с реперным опытом, для которого обработку фильтровальной бумаги осуществляли дистиллированной водой.

Таблица 5

Прирост биометрических показателей растений кресс-салата Ажур относительно контроля при использовании реагента M2

Концентрация реагента при разбавлении	Корень			Росток		
	Прирост, %		Достоверность	Прирост, %		Достоверность
10 ⁻⁴	109,49	+9,49	Достоверно	105,92	+5,9	Достоверно
10 ⁻³	103,15	+3,16	Недостоверно	109,5	+9,54	Достоверно
10 ⁻²	112,06	+12,06	Достоверно	109,21	+9,21	Достоверно
10 ⁻¹	119,77	+19,77	Достоверно	100,38	+0,38	Недостоверно

Table 5

Increase in biometric indicators of 'Azhur' garden cress using M2 reagent

Reagent concentration after dilution	Root			Sprout		
	Increase, %		Reliability	Increase, %		Reliability
10 ⁻⁴	109.49	+9.49	Reliable	105.92	+5.9	Reliable
10 ⁻³	103.15	+3.16	Unreliable	109.5	+9.54	Reliable
10 ⁻²	112.06	+12.06	Reliable	109.21	+9.21	Reliable
10 ⁻¹	119.77	+19.77	Reliable	100.38	+0.38	Unreliable

Статистически обработанные биометрические показатели пророщенного кресс-салата под влиянием реагентов на основе коросодержащих стоков M2 в зависимости от кратности их разбавления приведены на рис. 2.

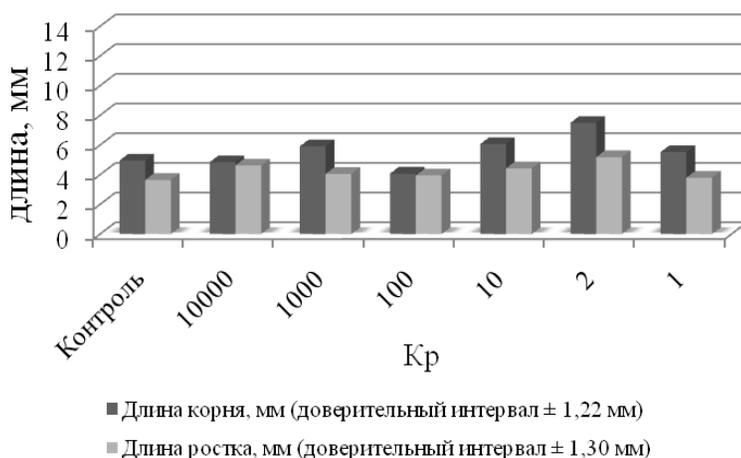


Рис. 2. Биометрические показатели кресс-салата в зависимости от кратности разбавления Кр водной вытяжки М2

Источник: выполнила С.Б. Михайлова с помощью программы Microsoft Excel

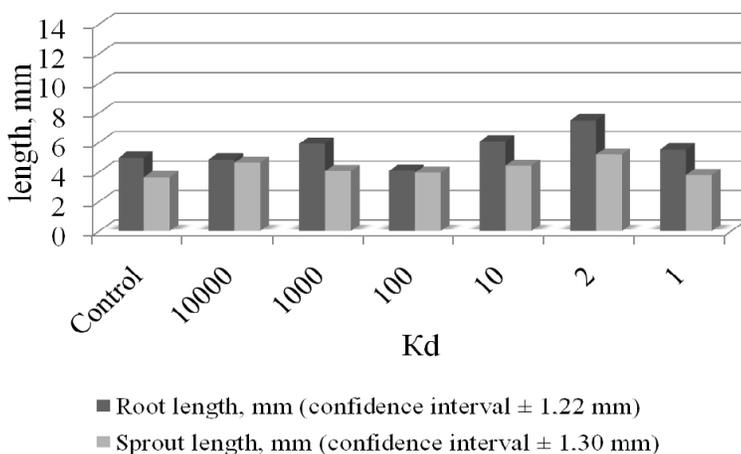


Fig. 2. Biometric indicators of garden cress depending on the dilution factor of M2 aqueous extract

Source: created by S.B. Mikhailova using Microsoft Excel

Как видно из приведенных данных, при кратностях разбавления в 2 и 1000 раз можно отметить существенные величины прироста ростка и корня по сравнению с контрольным образцом. При разбавлении в 100 раз отмечается угнетение ростостимулирующей активности. Однако при увеличении разбавления опять наблюдается переход к положительному эффекту в развитии ростков и корневой системы выбранной культуры. Изменение в механизме стимуляции ростков по сравнению с корневой системой требует дополнительного исследования этого явления и более детального анализа химического состава используемой композиции. Это позволит объяснить механизм процесса на основе трансформации самих компонентов, входящих в состав модели, и оценить их влияние на выбранную культуру. Однако это не входило в объем исследования на данном этапе.

Аналогичные исследования по оценке биометрических характеристик посевного материала проводили на образцах мягкой яровой пшеницы Рада. При выбранных условиях эксперимента всхожесть находилась в пределах 93,1...96,3%. Превышение по отношению к контролю — 1,5...4,1%.

Обобщенные результаты обработки экспериментальных данных этих исследований (рис. 3) свидетельствуют о ростостимулирующей активности используемого препарата на основе модели М1 в зависимости от кратности разбавления. Наибольшей стимулирующей активностью обладают композиции с кратностью разбавления в диапазоне от 2 до 10 (рис. 3). Причем при обработке посевного материала этими растворами отмечается как ростостимулирующая активность корневой системы, так и увеличение параметров ростков.

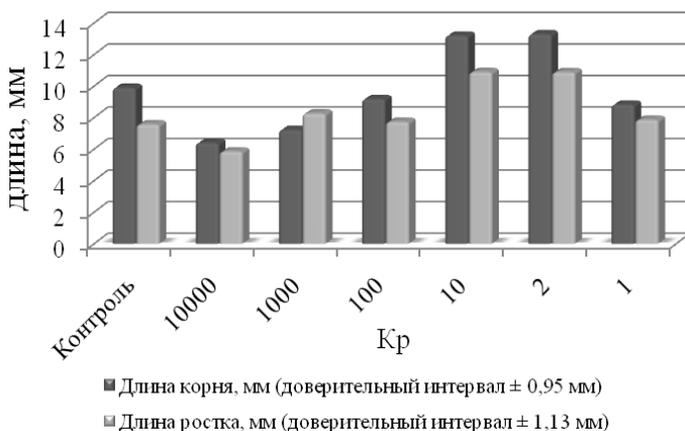


Рис. 3. Биометрические показатели пшеницы в зависимости от кратности разбавления Kp промышленной водной вытяжки М1

Источник: выполнила С.Б. Михайлова с помощью программы Microsoft Excel

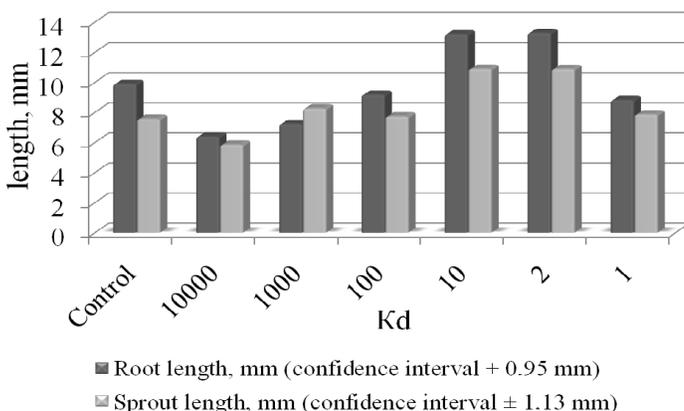


Fig. 3. Biometric indicators of wheat depending on the dilution factor of M1 industrial aqueous extract

Source: created by S.B. Mikhailova using Microsoft Excel

Как в случае с кресс-салатом, так и для образцов пшеницы кратность разбавления 100 раз является особенной. При данном разбавлении полученная композиция преимущественно инертна по отношению к выбранным образцам пшеницы или незначительно отличается от биометрических показателей контроля. Напротив, при увеличении разбавления отмечается угнетение корня, причем достаточно активное по сравнению с контрольным образцом. Росток также испытывает дефицит в питательных веществах и развивается практически как контрольный образец, а при разбавлении более 1000 раз даже отмечается его угнетение. Угнетение корня отмечается при разбавлении более чем в 100 раз. Эти данные свидетельствуют о том, что для получения композиции с выраженной ростостимулирующей активностью нет необходимости в значительном разбавлении в производственном процессе. Композиция с кратностью разбавления не более чем в 10 раз может выполнять функции стимуляторов роста.

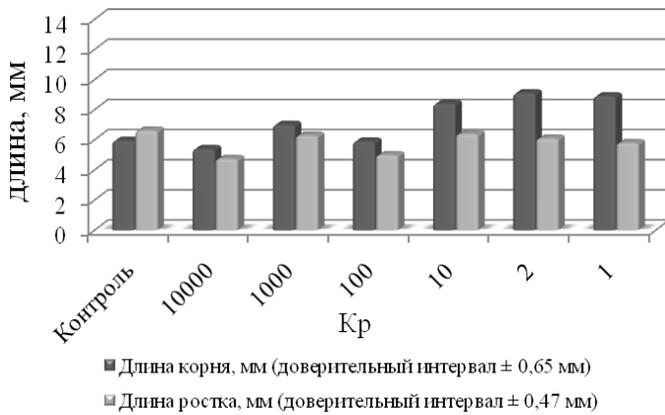


Рис. 4. Биометрические показатели пшеницы в зависимости от кратности разбавления Kp водной дисперсии M2

Источник: выполнила С.Б. Михайлова с помощью программы Microsoft Excel

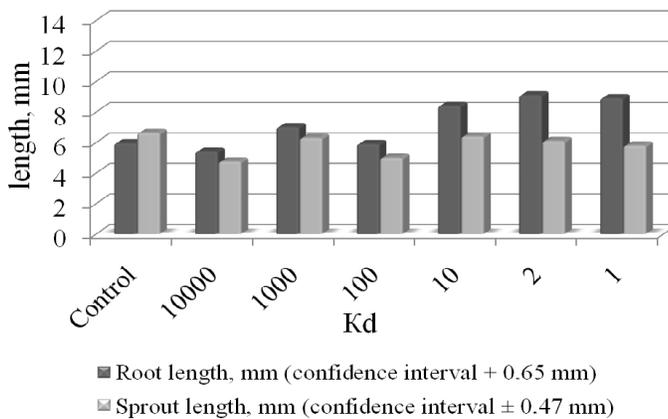


Fig. 4. Biometric indicators of wheat depending on the dilution factor of M2 aqueous dispersion

Source: created by S.B. Mikhailova using Microsoft Excel

Эффект изменения биометрических показателей пшеницы под воздействием водной дисперсии листовых пород М2 от кратности разбавления имеет бимодальный характер как для ростка, так и для корня (рис. 4). Причем корневая система активно развивается при разбавлении до 10 раз. При дальнейшем увеличении разбавления отмечается спад ростостимулирующей активности до зоны $K_p = 100$. Или изменение биометрических показателей ростка во всем исследованном диапазоне разбавления соизмеримо с контролем, или проявляется некоторое угнетение ростостимулирующей активности по отношению к реперным пробам.

Можно предположить, что некоторые из пяти основных природных веществ, известных из [10–15]: ауксины, гиббереллины, цитокинины, этилен, брассиностероиды — могут содержаться в водных экстрактах композиций, используемых при исследовании. Они воздействуют на рост и развитие растений и наиболее часто используются в разные фазы вегетационного их периода. В чистом виде эти компоненты в сточных водах при переработке биомассы древесины не зафиксированы, так как анализ и контроль этих потоков осуществляется только по суммарным показателям. Однако согласно наилучшим доступным технологиям (НДТ) по ЦБП⁶, в процессе мокрой окорки древесины отделение коры от ксилемы происходит по камбию. Соответственно, вода воздействует на камбий. В результате действия пара и воды в раствор переходят биологически активные вещества, в т. ч. ауксины и, возможно, цитокинины, которые дают позитивный стимулирующий эффект развитию растений. В результате гидролиза, частичного окисления и делигнификации происходит разрушение фенилпропановых единиц, которые по своей структуре очень похожи на структурные формы известных стимуляторов роста. Учитывая склонность лигнина к процессу самоорганизации и формированию трехмерных органоминеральных структур [16–18], можно предположить, что при различном разбавлении возникают и разрушаются кластеры из экстрактивных веществ. Они могут в одних случаях, при определенном разбавлении, угнетать ростостимулирующий эффект, и, напротив, при более низком разбавлении, где нет дополнительных окислительных процессов, осуществить стимуляцию роста выбранных образцов исследуемых культур.

Можно выдвинуть предположение, что фрагменты деструкции камбия и биомассы коры, поступающие в водную вытяжку при подготовке модельной системы, являются прекурсорами образования ростостимулирующих веществ, причем их концентрация при разбавлении может существенно варьироваться. Критическая зона разбавления от 50 до 100 раз, в которой во всех исследованных системах отмечается минимальный ростостимулирующий эффект, может рассматриваться как зона разбавления с формированием ингибиторов процесса биосинтеза в семенном материале.

Таким образом, водные экстракты коры, полученные в процессе подготовки древесного сырья при определенной кратности разбавления, могут рассматриваться как новая композиция для получения стимуляторов роста, которая в одном

⁶ Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИСТ 1-2015. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона.

случае способствует развитию биомассы корневой системы, а в другом — ростков. В данном случае рассматривалась только композиция на основе коросодержащей водной вытяжки без добавления дополнительных компонентов, которые могут усиливать эти эффекты.

Заключение

В работе показана принципиальная возможность использования водной вытяжки из коры различных пород древесины, полученной при подготовке ее к дальнейшей переработке на предприятиях ЦБП, в качестве стимулятора роста высших растений. Подготовка водной экстракции коросодержащего потока для целевого использования может быть реализована на базе основного технологического процесса локальной очистки этих потоков с использованием биологически очищенной воды для регулирования концентрации активных компонентов. В результате исследований показана выраженная ростостимулирующая активность водных композиций на основе вытяжки из коры в диапазоне до 50 раз по отношению к различным культурам. Это может расширить спектр товарных продуктов предприятий ЦБП в виде жидкого экстракта из коры, полученного на стадии ДПЦ в качестве стимулятора роста высших растений, который можно использовать как для сельскохозяйственных культур, так и культур, применяемых при рекультивации территорий. Такой вариант реализации продукта наиболее целесообразен, так как любое его концентрирование приведет к изменению коллоидно-химических свойств конечного продукта и будет требовать дополнительных исследований и затрат на его подготовку для целевого использования.

Библиографический список

1. Дейнеко И.П., Дейнеко И.В., Белов Л.П. Исследование химического состава коры сосны // *Химия растительного сырья*. 2007. № 1. С. 19–24.
2. Галкин Г.Д. Механизм управления развитием производства экологически чистого продовольствия // *Вестник Челябинского государственного университета*. 2018. № 3 (413). Экономические науки. Вып. 60. С. 61–69.
3. Наими О.И., Поволоцкая Ю.С. Биологическое земледелие и экологические аспекты применения гуминовых препаратов // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019. Т. 3–1. С. 121–123. doi: 10.24411/2500–1000–2019–10633
4. Гаврилов Т.А., Паталайнен Л.С., Колесников Г.Н. О ресурсосберегающих технологиях экологически безопасной утилизации древесной коры // *Современные научные исследования и инновации*. 2014. № 7. С. 59–64.
5. Володин В.В., Шубаков А.А., Володина С.О., Шергина Н.Н., Васильев П.Г. Тенденции в развитии методов утилизации коры и кородревесных отходов длительного хранения (обзор) // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022. Т. 23. № 5. С. 611–632. doi: 10.30766/2072–9081.2022.23.5.611–632
6. Kumar A., Gautam A., Dutt D. Biotechnological transformation of lignocellulosic biomass into industrial products // *An Overview. Advances in Bioscience and Biotechnology*. 2016. Vol. 7. No. 3. P. 149–168. doi: 10.4236/abb.2016.73014
7. Демидова Н.А., Мочалов Б.А., Бунтина М.Л. Использование компостов на основе древесной коры в качестве удобрения при выращивании саженцев черной смородины // *Научные ведомости. Серия естественные науки*. 2013. № 7. С. 43–49.

8. Байбородин А.М., Воронцов К.Б., Богданович Н.И. Разработка системы локальной очистки сильнозагрязненных сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий // *Вода: химия и экология*. 2011. № 8. С. 16–21.
9. Байбородин А.М., Воронцов К.Б., Богданович Н.И. Коагуляционная очистка сильнозагрязненного стока ДППЗ-3 ОАО «Архангельский ЦБК» // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2012. № 4. С. 144–150.
10. Чумикина Л.В., Арабова Л.И., Колпакова В.В., Топунов А.Ф. Фитогормоны и абиотические стрессы (обзор) // *Химия растительного сырья*. 2021. № 4. С. 5–30. doi: 10.14258/jcprp.2021049196
11. Нефедьева Е.Э., Белоухов С.Л., Верхотуров В.В., Лысак В.И. Роль фитогормонов в регуляции прорастания семян // *Известия высших учебных заведений. Прикладная химия и биотехнология*. 2013. № 1 (4). С. 61–66.
12. Барабаш И.П., Петрова Л.Н., Дрена Е.Б. Регулирование ферментных систем в растениеводстве // *Агрохимический вестник*. 2012. № 2. С. 30–31.
13. Тютчев С.Л. Физиолого-биохимические основы управления стрессоустойчивостью растений в адаптивном растениеводстве // *Вестник защиты растений*. 2000. № 1. С. 11–35.
14. Gyan'ko A.K., Ischenko A.A. Cytokinin and Auxin Participation in Nodulation Process Regulation in Legumes // *Journal of stress Physiology & Biochemistry*. 2015. Vol. 11. № 2. P. 16–27.
15. Тарабанько В.Е., Ульянова О.А., Калачева Г.С. Исследование динамики содержания терпеновых соединений в компостах на основе сосновой коры и их ростостимулирующей активности // *Химия растительного сырья*. 2010. № 1. С. 121–126.
16. Карманов А.П. Самоорганизация и структурная организация лигнина. Екатеринбург, 2004. 268 с.
17. Kocheva L.S., Karmanov A.P., Mironov M.V., Belyu V.A., Polina I.N., Pokryshkin S.A. Characteristics of chemical structure of lignin biopolymer from Araucaria relict plant. Questions and answers of evolution // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. Vol. 159. P. 896–903. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.05.150
18. Belyu V.A., Nekrasova P.S., Kaneva M.V., Karmanov A.P., Kocheva L.S., Lobov A.N., Spirikhin L.V. Comparative study of chemical and topological structure of macromolecules of. lignins of birch (*Betula verrucosa*) and apple (*Malus domestica*) wood // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. Vol. 128. P. 40–48. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.01.095

References

1. Deyneko IP, Deyneko IV, Belov LP. Investigation of the chemical composition of pine bark. *Chemistry of plant raw material*. 2007;(1):19–24. (In Russ.).
2. Galkin GD. Innovative development production of ecologically pure food: concept, objectives, role of the state. *Bulletin of Chelyabinsk State University. Economic sciences*. 2018;(3):61–69. (In Russ.).
3. Naimi OI, Povolotskaya YS. Biological farming and ecological aspects of the humic preparations application. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019;(3–1):121–123. (In Russ.). doi: 10.24411/2500–1000–2019–10633
4. Gavrilov TA, Patalaynen LS, Kolesnikov GN. About resource-saving technology of ecologically safe utilization of tree bark. *Modern scientific researches and innovations*. 2014;(7):59–64. (In Russ.).
5. Volodin VV, Shubakov AA, Volodina SO, Shergina NN, Vasilov RG. Trends in the development of methods of disposal of bark and bark-wood waste of long-term storage (review). *Agricultural science of the Euro-North-East*. 2022;23(5):611–632. (In Russ.). doi: 10.30766/2072–9081.2022.23.5.611–632
6. Kumar A, Gautam A, Dutt D. Biotechnological transformation of lignocellulosic biomass in to industrial products: an overview. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 2016;7(3):149–168. doi: 10.4236/abb.2016.73014
7. Demidova NA, Mochalov BA, Buntina ML. The use of composts based on wood bark as a fertilizer for black currant seedlings cultivation. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences*. 2013;(7):43–49. (In Russ.).
8. Bayborodin AM, Vorontsov KB, Bogdanovich NI. Local treatment of heavily polluted sewage waters of pulp and paper industry. *Water: chemistry and ecology*. 2011;(8):16–21. (In Russ.).
9. Bayborodin AM, Vorontsov KB, Bogdanovich NI. Coagulation treatment of heavily polluted effluents of the woodroom-3 of JSC “Arkhangelsk Pulp and Paper Mill”. *Russian Forestry Journal*. 2012;(4):144–150. (In Russ.).
10. Chumikina LV, Arabova LI, Kolpakova VV, Topunov AF. Phytohormones and abiotic stresses (review). *Khimija rastitel'nogo syr'ya*. 2021;(4):5–30. (In Russ.). doi: 10.14258/jcprp.2021049196

11. Nefedeva EE, Belopukhov SL, Verkhoturov VV, Lysak VI. Role of phytohormones in regulation of seed germination. *Proceedings of universities. Applied chemistry and biotechnology*. 2013;(1):61–66. (In Russ.).
12. Barabash IP, Petrova LN, Drepa EB. Regulation of enzyme systems in plant breeding. *Agrochemical Bulletin*. 2012;(2):30–31. (In Russ.).
13. Tyuterev SL. Physiology-biochemical bases for stress resistance management in plants in adaptive agriculture. *Plant protection news*. 2000;(1):11–35. (In Russ.).
14. Glyanko AK, Ischenko AA. Cytokinin and auxin participation in nodulation process regulation in legumes. *Journal of stress Physiology & Biochemistry*. 2015;11(2):16–27.
15. Tarabanko VE, Ulyanova OA, Kalacheva GS. Research of dynamics of the content of terpene compounds in composts based on pine bark and their growth-stimulating activity. *Khimija rastitel'nogo syr'ja*. 2010;(1):121–126. (In Russ.).
16. Karmanov AP. *Samoorganizatsiya i strukturnaya organizatsiya lignina* [Self-organization and structural organization of lignin]. Yekaterinburg, 2004. (In Russ.).
17. Kocheva LS, Karmanov AP, Mironov MV, Belyy VA, Polina IN, Pokryshkin SA. Characteristics of chemical structure of lignin biopolymer from *Araucaria* relict plant. Questions and answers of evolution. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;159:896–903. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.05.150
18. Belyy VA, Karmanov AP, Kocheva LS, Nekrasova PS, Kaneva MV, Lobov AN, et al. Comparative study of chemical and topological structure of macromolecules of lignins of birch (*Betula verrucosa*) and apple (*Malus domestica*) wood. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019;128:40–48. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.01.095

Об авторах:

Дягилева Алла Борисовна — доктор химических наук, доцент кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Российская Федерация, 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; e-mail: abdiag@mail.ru
ORCID: 0000-0001-5983-4550 SPIN-код: 3808-0190

Михайлова Софья Борисовна — преподаватель, Пожарно-спасательный колледж «Санкт-Петербургский центр подготовки спасателей», Российская Федерация, 193315, г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 52, к. 1, лит. К; e-mail: soniamihailova@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7927-2081

Смирнова Анастасия Игоревна — кандидат химических наук, доцент кафедры физической и коллоидной химии, Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Российская Федерация, 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; e-mail: smirnova_nasty87@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6429-1490 SPIN-код: 5820-0410

About the authors:

Dyagileva Alla Borisovna — Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Protection and Rational Use of Natural Resources, Higher School of Technology and Power Engineering, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivana Chernykh st., Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: abdiag@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5983-4550 SPIN-code: 3808-0190

Mikhailova Sofya Borisovna — teacher, Fire and Rescue College “St. Petersburg Rescue Training Center”, 52/1 building K Bolshevikov ave., Saint Petersburg, 193315, Russian Federation; e-mail: soniamihailova@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-7927-2081

Smirnova Anastasia Igorevna — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Physical and Colloidal Chemistry, Higher School of Technology and Power Engineering, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivana Chernykh st., Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: smirnova_nasty87@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6429-1490 SPIN-code: 5820-0410



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-228-238

EDN: KJXNRJ

УДК 635.21:631.532/535:631.87

Научная статья / Research article

Влияние препаратов различного спектра действия на урожайность мини-клубней картофеля сортов Ариэль и Садон в условиях защищенного грунта

Т.С. Малкова  , Г.Б. Демьянова-Рой 

Костромской научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха», г. Кострома, Российская Федерация
 malkova-ts2017@yandex.ru

Аннотация. В комплексе первоочередных направлений картофелеводства в РФ наиболее актуальная задача — повышение эффективности использования сортовых ресурсов лучших российских селекционных достижений, а также освоение современных технологических схем производства исходного, оригинального и элитного семенного картофеля. Предпринято много попыток усовершенствовать технологии выращивания мини-клубней картофеля, относящихся к категории исходного материала в семеноводстве, с целью получения максимального количества клубней с единицы площади. Цель исследования — установить влияние биологических препаратов Альбит (поли-бета-гидроксимасляная кислота + магний сернокислый + калий фосфорнокислый + калий азотнокислый + карбамид), БисолбиСан (*Bacillus subtilis*, штамм Ч-13 + метаболиты, полученные в процессе культивирования штамма), Прорастин (N, P₂O₅, K₂O, Cu, Co, Zn, гуминовые кислоты, ауксины, гиббереллины, цитокинины), Полистин (N, P₂O₅, K₂O, Cu, Co, Zn, фульвокислоты, ауксины, гиббереллины, цитокинины) и препарата на основе гриба арбускулярной микоризы (*Rhizophagus irregularis*) на выход кондиционных мини-клубней картофеля сортов отечественной селекции Ариэль и Садон и их среднюю массу по фракциям в условиях защищенного грунта. Заложено однофакторный опыт в теплице весенне-летнего типа. Микрорастения картофеля были высажены в пластмассовые горшки объемом 5 л, заполненные грунтом Агробалт-С. Варианты опыта: 1) контроль (без обработки); 2) Альбит, предпосадочная обработка + некорневая обработка 2 раза; 3) БисолбиСан, предпосадочная обработка + некорневая обработка 3 раза; 4) Прорастин + Полистин, предпосадочная обработка (Прорастин) + некорневая обработка 2 раза (Полистин); 5) препарат на основе гриба арбускулярной микоризы вида *Rhizophagus irregularis*, предпосадочная обработка микрорастений. Установлено, что применение Прорастина и Полистина и обработки корневой системы микрорастений перед посадкой биопрепаратом на основе гриба арбускулярной микоризы вида *Rhizophagus irregularis* обеспечило лучшие показатели по выходу кондиционных мини-клубней сорта Ариэль и средней массе клубней обоих сортов.

© Малкова Т.С., Демьянова-Рой Г.Б., 2024



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

Ключевые слова: сорта картофеля российской селекции, выход мини-клубней, средняя масса клубня, фракционный состав, биологические препараты

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Препараты для исследований были приобретены авторами исследования на предприятиях производителей.

История статьи: поступила в редакцию 3 июля 2023 г., принята к публикации 25 декабря 2023 г.

Для цитирования: Малкова Т.С., Демьянова-Рой Г.Б. Влияние препаратов различного спектра действия на урожайность мини-клубней картофеля сортов Ариэль и Садон в условиях защищенного грунта // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 228—238. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-228-238

The effect of chemicals with various spectrum of action on yield of potato mini-tubers cv. Ariel and cv. Sadon grown in protected ground

Tatyana S. Malkova  , Galina B. Demyanova-Roy 

Kostroma Scientific Research Institute of Agriculture — branch of Russian Potato Research Center, Kostroma, Russian Federation
 malkova-ts2017@yandex.ru

Abstract. In the complex of priority directions for development of potato production in the Russian Federation, the most urgent task is to increase efficiency of using varietal resources of the best domestic breeding achievements, as well as development of modern technological schemes for production of initial, original and elite seed potatoes. Recently, many attempts have been made to improve the technology of growing potato mini-tubers, which belong to the category of starting material in seed production, in order to obtain the maximum number of tubers per unit area. The main goal of the research was to study the effect of biological agents: Albit (poly-beta-hydroxybutyric acid + magnesium sulfate + potassium phosphoric acid + potassium nitrate + carbamide), BisolbiSan (*Bacillus subtilis*, strain H-13 + metabolites obtained during the cultivation of the strain), Prorastin (N, P₂O₅, K₂O, Cu, Co, Zn, humic acids, auxins, gibberellins, cytokinins), Polystine (N, P₂O₅, K₂O, Cu, Co, Zn, fulvic acids, auxins, gibberellins, cytokinins) and a product based on fungal arbuscular mycorrhiza (*Rhizophagus irregularis*) on yield of conditioned mini-tubers of potato cv. Ariel and cv. Sadon and their average weight by fractions in protected soil conditions. The one-factor experiment was carried out in a greenhouse of spring-summer type. Potato micro-plants were grown in 5L plastic pots filled with soil Agrobalt-C. Experiment variants: 1) Control (without treatment); 2) Albit, pre-treatment + two foliar dressings; 3) BisolbiSan, pre-treatment+3 foliar dressings; 4) Prorastin + Polystin, pre-treatment (Prorastin) + 2 foliar dressings (Polystin); 5) Product based on the fungal arbuscular mycorrhiza (*Rhizophagus irregularis*), pre-treatment of micro-plants. It was found that Prorastin and Polystin and treatment of the root system of micro-plants before planting with bioagent based on the fungal arbuscular mycorrhiza (*Rhizophagus irregularis*) provided the best indicators for yield of conditioned mini-tubers cv. Ariel and average weight of tubers of both cultivars.

Keywords: Russian potato cultivars, yield of mini-tubers, average tuber weight, fractional composition, biological agents

Conflicts of interest. The authors declare that there is no conflict of interest. Chemicals for the research were purchased at manufacturers' enterprises.

Article history: Received: 3 July 2023. Accepted: 25 December 2023.

For citation: Malkova TS, Demyanova-Roy GB. The effect of chemicals with various spectrum of action on yield of potato mini-tubers cv. Ariel and cv. Sadon grown in protected ground. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):228—238. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-228-238

Введение

Картофель для России — ценная продовольственная, кормовая, техническая и стратегическая культура [1].

Возделывание картофеля требует использования качественного посадочного материала. Новые сорта картофеля необходимо быстро размножить для сохранения заложенных в него конкурентных преимуществ. Вегетативный способ размножения картофеля позволяет сохранить генетический потенциал культуры от расщепления, но одновременно способствует быстрому накоплению комплекса заболеваний различной этиологии. Повторное заражение картофеля и снижение его продуктивности — это естественный процесс¹ [2, 3].

В семеноводстве картофеля выделяют несколько способов получения и воспроизводства оздоровленного исходного материала:

— отбор исходных растений в полевых условиях на основании внешнего состояния растения с использованием лабораторных методов исследования на наличие возбудителей болезней;

— оздоровление сортов в культуре *in vitro* [4, 5].

В настоящее время оригинальное семеноводство картофеля базируется на использовании традиционного метода клонального размножения *in vitro* оздоровленных растений в пробирках и получения мини-клубней в условиях, контролируемых от повторного заражения среды².

Основная цель технологий производства мини-клубней — получение как можно большего их количества, хорошего состояния здоровья на одно растение и на единицу площади теплицы. Многие методы растениеводства можно использовать для манипулирования параметрами урожайности [6].

При выращивании картофеля в защищенном грунте чаще всего используют интегрированную систему защиты растений, в которую входит применение не только химических, но и биологических средств защиты. Применение химических препаратов не всегда положительно сказывается на росте и развитии растений, зачастую при борьбе с патогенами происходит угнетение и полезной микрофлоры, именно поэтому целесообразно применение биопрепаратов [7].

Их применение направлено на повышение продуктивности и качества картофеля, снижение зависимости урожайности от климатических условий, стрессов, развития болезней, патогенного фона почв [8].

¹ Семеноводство картофеля: современные технологии, нормативное регулирование, проверка качества: методическая рекомендация / под ред. Б.В. Анисимова. Чебоксары, 2017. 36 с.

² Овэс Е.В., Анисимов Б.В., Усков А.И. Методические рекомендации по тиражированию *in vitro* материала для оригинального семеноводства картофеля. М.: ФГБНУ ВНИИКС, 2017. 25 с.

Так, например, при совместном применении биоорганических удобрений Прорастин и Полистин увеличивается число клубней в клубневом гнезде. При этом доля крупных и средних клубней растет, а доля мелких клубней снижается [9].

Аналогичные результаты повышения урожайности и качества клубней с увеличением чистой продуктивности фотосинтеза и интенсивности дыхания листьев картофеля получены в Курганском государственном университете при обработке картофеля регулятором роста Альбит [10].

По результатам исследований В.С. Курсаковой, обработка семян картофеля биопрепаратами корневых diaзотрофов и микоризы может способствовать увеличению урожайности сортов картофеля до 108 % [11].

В России и за рубежом проводятся широкие исследования по изучению возможности использования полезных форм микроорганизмов для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и улучшения качества продукции [12, 13].

В рамках развития системы семеноводства все больше внимания уделяется развитию экологических методов борьбы с заболеваниями растений, которые рассматриваются как альтернатива химическим методам защиты, оказывающим отрицательное воздействие на экологию агрофитоценозов. Среди них особое место занимает применение микробиологических препаратов на основе ризосферных микроорганизмов [14].

Применение микробных удобрений может позволить получать экологически чистую продукцию, улучшать продуктивность растений и повышать устойчивость к грибным заболеваниям. Известно, что устойчивость растений к заболеваниям и лучший рост во многом определяются результатами взаимодействия между корневой системой растений и разнообразными населяющими ее микроорганизмами [15, 16].

Цель нашего исследования состояла в определении влияния изучаемых био-логических препаратов на выход кондиционных мини-клубней картофеля сортов Ариэль и Садон и их среднюю массу в условиях защищенного грунта.

Рассмотрено влияние препаратов, обладающих действием регуляторов роста: Альбита (поли-бета-гидроксимасляная кислота + магний сернокислый + калий фосфорнокислый + калий азотнокислый + карбамид) со свойствами фунгицида и комплексного удобрения, микробиологического препарата БисолбиСан (*Bacillus subtilis*, штамм Ч-13 + метаболиты, полученные в процессе культивирования штамма), биоорганических удобрений Прорастина (N, P₂O₅, K₂O, Cu, Co, Zn, гуминовые кислоты, ауксины, гиббереллины, цитокинины) и Полистина (N, P₂O₅, K₂O, Cu, Co, Zn, фульвокислоты, ауксины, гиббереллины, цитокинины), биопрепарата на основе гриба арбускулярной микоризы вида *Rhizophagus irregularis* (получен из ФГБНУ ВНИИСХМ, г. Санкт-Петербург).

Материалы и методы исследований

Опыт был заложен в 2022 г. на базе Костромского НИИСХа — филиала ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» в теплице весенне-летнего типа. Объект изучения — сорта картофеля российской селекции Ариэль и Садон. Оба сорта среднераннего срока созревания и столового назначения. Оригинатором обоих сортов является ФГБНУ «ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха».

Микрорастения картофеля в мае высаживали в пластмассовые горшки объемом 5 л, заполненные грунтом Агробалт-С со следующими агрохимическими характеристиками: содержание органического вещества — не менее 80 %, pH — 5,5...6,5, общее содержание азота — 150, фосфора — 150, калия — 250, кальция — 120, магния — 30 мг/л.

Полив проводился методом дождевания раз в 2 дня до предельной полевой влагоемкости грунта.

Опыт включал 5 вариантов, заложенных методом систематического размещения с использованием фона Акварин 13 + монокалийфосфат.

Акварин 13 и монокалийфосфат применяли в качестве корневой подкормки (концентрация рабочего раствора 1 %) и некорневой (концентрация рабочего раствора 0,5 и 1 % соответственно) согласно инструкции по применению.

Варианты опыта:

1. Контроль, без обработки.
2. Альбит, предпосадочная обработка + некорневая обработка 2 раза.
3. БисолбиСан, предпосадочная обработка + некорневая обработка 3 раза.
4. Прорастин + Полистин, предпосадочная обработка (Прорастин) + некорневая обработка 2 раза (Полистин).
5. Препарат на основе гриба арбускулярной микоризы вида *Rhizophagus irregularis*, предпосадочная обработка микрорастений.

Альбит применяли в качестве предпосадочной обработки грунта (концентрация рабочего раствора — 3 %) и двух некорневых обработок: первая в фазу бутонизации растений картофеля, вторая — через 10 дней после первой обработки (концентрация рабочего раствора — 0,02 %).

БисолбиСан применяли в качестве предпосадочной обработки грунта (концентрация рабочего раствора — 0,1 %) и трех некорневых обработок: первая через 20 дней после посадки, вторая на период начала бутонизации, третья — после цветения картофеля (концентрация рабочего раствора — 1 %).

В варианте Прорастин + Полистин проводили предпосадочную обработку грунта Прорастином (концентрация рабочего раствора — 0,01 %). Полистин использовали в качестве некорневой обработки 2 раза: через 20 дней после посадки и в фазу бутонизации (концентрация рабочего раствора — 1 %).

Биопрепарат на основе гриба арбускулярной микоризы вида *Rhizophagus irregularis* наносили на корневую систему микрорастений перед посадкой в количестве 2 г на растение.

Корневую подкормку картофеля препаратами проводили из расчета 0,5 л рабочего раствора на сосуд, некорневую обработку растений вели до полного смачивания листьев.

Планирование и проведение опыта осуществлялось по методике исследований по культуре картофеля ВНИИКХ³.

Фенологические наблюдения за посадками картофеля включали установление фаз бутонизации, цветения и отмирания листьев.

³ Методика исследований по культуре картофеля / под ред. Н.С. Бацанова. М.: НИИКХ, 1967. 262 с.

Определение урожайности мини-клубней проводили во время естественного отмирания ботвы. Для этого брали по 10 растений (контейнеров) в 3-кратной повторности. Проводили деление мини-клубней на 5 фракций, подсчитывали количество клубней и определяли их массу в каждой фракции. Выделяли кондиционные и некондиционные мини-клубни. К некондиционным мини-клубням по ГОСТ 33996–2016⁴ относили уродливые и несоответствующие размеру клубни. Математическую обработку результатов проводили методом дисперсионного анализа в соответствии с методикой полевого опыта Б.А. Доспехова⁵.

Результаты исследования и обсуждение

Проведенные наблюдения позволили выявить особенности прохождения растениями картофеля фаз развития. На посадках сорта Ариэль фенологические фазы проходили на всех вариантах опыта практически одновременно. Межфазный период от посадки до бутонизации составил 35 суток, продолжительность бутонизации и цветения оказалась весьма кратковременной — 7 суток, наиболее длительным был промежуток от окончания фазы цветения до отмирания ботвы — более 54 суток. Тогда как на сорте Садон переход от вегетативного к генеративному развитию не на всех вариантах имел соответствующие фазе морфологические признаки. По этому сорту только на вариантах Прорастин + Полистин и применении биопрепарата на основе гриба *Rhizophagus irregularis* отмечен переход к фазам бутонизации и цветения на 10 % растений.

По результатам опыта был определен выход кондиционных клубней и средняя масса клубней картофеля изучаемых сортов. Выход кондиционных мини-клубней сорта Ариэль по фракциям приведен в табл. 1. Количество их менялось от 12,2 шт./растение на контроле до 13,9 шт./растение в варианте с применением биоорганических препаратов Прорастина и Полистина.

Таблица 1

Фракционный состав мини-клубней картофеля сорта Ариэль, шт.

Вариант	Фракции, мм					Всего, шт./растение
	9...25	25...35	35...45	45...55	55...60	
1. Контроль	5,7	5,4	1,1	0,0	–	12,2
2. Альбит	6,4	5,8	0,7	0,0	–	12,9
3. БисолбиСан	7,3	5,8	0,4	0,0	–	13,5
4. Прорастин + Полистин	5,7	6,7	1,5	0,0	–	13,9
5. Микоризный препарат (<i>Rhizophagus irregularis</i>)	5,0	6,4	2,1	0,1	–	13,6
НСР ₀₅						2,3

⁴ ГОСТ 33996–2016. Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества. М., 2017.

⁵ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1986. 351 с.

Table 1

Fractional composition of mini-tubers of potato cv. Ariel

Variant	Fractions, mm					Tubers per plant
	9...25	25...35	35...45	45...55	55...60	
1. Control	5.7	5.4	1.1	0.0	–	12.2
2. Albit	6.4	5.8	0.7	0.0	–	12.9
3. BisolbiSan	7.3	5.8	0.4	0.0	–	13.5
4. Prorastin+Polistin	5.7	6.7	1.5	0.0	–	13.9
5. Mycorrhizal product (<i>Rhizophagus irregularis</i>)	5.0	6.4	2.1	0.1	-	13.6
LSD ₀₅						2.3

Удельный вес фракции клубней размером 9...25 мм составил 47 % на контроле, 50 % в варианте с обработкой препаратом Альбит, 54 % — с применением БисолбиСан, на остальных вариантах опыта доля мини-клубней этой фракции была меньше, чем на контроле.

Удельный вес фракции 25...35 мм по выходу клубней составил от 44 % на контроле до 47...48 % в варианте с обработкой растений микоризным препаратом и совместным применением Прорастина и Полистина.

Таким образом, именно эти фракции обеспечили более 90 % выхода мини-клубней.

Средняя масса клубня сорта Ариэль приведена в табл. 2, она составила от 14,0 г в варианте с применением БисолбиСан до 20,1 г — с использованием препарата на основе гриба арбускулярной микоризы. Существенная прибавка по этому показателю получена в вариантах с применением Прорастина + Полистина — 2,4 г и использованием препарата на основе гриба арбускулярной микоризы — 4,6 г.

Таблица 2

Средняя масса мини-клубня картофеля сорта Ариэль, г

Вариант	Фракции, мм					По всем фракциям
	9...25	25...35	35...45	45...55	55...60	
1. Контроль	5,6	21,0	49,6	0,0	–	15,5
2. Альбит	6,3	21,1	51,1	0,0	–	14,7
3. БисолбиСан	6,9	20,9	56,1	0,0	–	14,0
4. Прорастин + Полистин	6,9	21,3	46,4	0,0	–	17,9
5. Микоризный препарат (<i>Rhizophagus irregularis</i>)	6,4	21,2	49,6	82,7	–	20,1
НСР ₀₅						2,4

Table 2

Average weight of mini-tubers of potato cv. Ariel, g

Variant	Fractions, mm					Total weight, g
	9...25	25...35	35...45	45...55	55...60	
1. Control	5.6	21.0	49.6	0.0	–	15.5
2. Albit	6.3	21.1	51.1	0.0	–	14.7
3. BisolbiSan	6.9	20.9	56.1	0.0	–	14.0
4. Prorastin + Polistin	6.9	21.3	46.4	0.0	–	17.9
5. Mycorrhizal product (<i>Rhizophagus irregularis</i>)	6.4	21.2	49.6	82.7	–	20.1
LSD ₀₅						2.4

Выход кондиционных клубней сорта Садон в опыте приведен в табл. 3. Полученные результаты свидетельствуют о более низкой количественной продуктивности клубней с растения по сравнению с сортом Ариэль. Но на сорте Садон в вариантах с применением Прорастина + Полистина и препарата на основе гриба арбускулярной микоризы были получены мини-клубни фракции 55...60 мм, которых не было у сорта Ариэль.

Таблица 3

Фракционный состав мини-клубней картофеля сорта Садон, шт.

Вариант	Фракции, мм					Всего, шт./растение
	9...25	25...35	35...45	45...55	55...60	
1. Контроль	4,0	4,7	0,8	0,0	–	9,5
2. Альбит	3,1	3,8	2,4	0,3	–	9,6
3. БисолбиСан	3,0	3,3	2,2	0,3	–	8,8
4. Прорастин + Полистин	2,6	3,4	3,0	1,0	0,1	10,1
5. Микоризный препарат (<i>Rhizophagus irregularis</i>)	1,5	2,7	3,1	1,6	0,3	9,2
HCP ₀₅						1,6

Table 3

Fractional composition of mini-tubers of potato cv. Sadon

Variant	Fractions, mm					Number per plant
	9...25	25...35	35...45	45...55	55...60	
1. Control	4.0	4.7	0.8	0.0	–	9.5
2. Albit	3.1	3.8	2.4	0.3	–	9.6
3. BisolbiSan	3.0	3.3	2.2	0.3	–	8.8
4. Prorastin + Polistin	2.6	3.4	3.0	1.0	0.1	10.1
5. Mycorrhizal product (<i>Rhizophagus irregularis</i>)	1.5	2.7	3.1	1.6	0.3	9.2
LSD ₀₅						1.6

Количество клубней на растение изменялось от 8,8 шт./растение на варианте с использованием БисолбиСан до 10,1 шт./растение в варианте с применением Прорастина и Полистина. Существенной прибавки по выходу мини-клубней не обеспечил ни один из исследуемых препаратов.

Удельный вес фракции 9...25 мм по выходу клубней составил 42 %, фракции 25...35 мм — 49 % на контроле и это были максимальные величины в сравнении со всеми вариантами опыта.

При этом средняя масса клубня сорта Садон (табл. 4) менялась от 17,8 г в контрольном варианте до 47,6 г в варианте с применением препарата на основе гриба арбускулярной микоризы. Величина прибавки по средней массе клубня существенна по всем вариантам опыта. Наилучшими вариантами, оказавшими положительное влияние на продуктивность мини-клубней, как и по сорту Ариэль, оказалось применение препаратов Прорастина и Полистина, а также использование препарата на основе гриба арбускулярной микоризы. Прибавка к контролю средней массы клубня составила 98 и 167 % соответственно.

Таблица 4

Средняя масса мини-клубня картофеля сорта Садон, г

Вариант	Фракции, мм					По всем фракциям
	9...25	25...35	35...45	45...55	55...60	
1. Контроль	6,3	22,5	55,8	0,0	—	17,8
2. Альбит	7,4	22,1	50,7	97,8	—	25,5
3. БисолбиСан	7,0	22,6	50,0	86,9	—	25,7
4. Прорастин + Полистин	5,9	23,0	51,2	104,7	158,0	35,2
5. Микоризный препарат (<i>Rhizophagus irregularis</i>)	5,9	23,1	50,1	98,2	192,2	47,6
HCP ₀₅						7,7

Table 4

Average weight of mini-tubers of potato cv. Sadon, g

Variant	Fractions, mm					Total weight
	9...25	25...35	35...45	45...55	55...60	
1. Control	6.3	22.5	55.8	0.0	—	17.8
2. Albit	7.4	22.1	50.7	97.8	—	25.5
3. BisolbiSan	7.0	22.6	50.0	86.9	—	25.7
4. Prorastin + Polistin	5.9	23.0	51.2	104.7	158.0	35.2
5. Mycorrhizal product (<i>Rhizophagus irregularis</i>)	5.9	23.1	50.1	98.2	192.2	47.6
LSD ₀₅						7.7

Заключение

При выращивании мини-клубней картофеля сортов отечественной селекции среднераннего срока созревания Ариэль и Садон в условиях защищенного грунта выяснено, что лучшие показатели по выходу мини-клубней кондиционной фракции сорта Ариэль и средней массе клубней обоих сортов обеспечили варианты с применением Прорастина + Полистина и обработкой корневой системы микрорастений перед посадкой биопрепаратом на основе гриба арбускулярной микоризы вида *Rhizophagus irregularis*.

Библиографический список

1. Анисимов Б.В. Европейские технологии — российским картофелеводам мов // Картофель и овощи. 2013. № 6. С. 31.
2. Фоминых Т.С., Медведева К.Д. Вирусные болезни картофеля на северо-западе России // Вестник защиты растений. 2018. № 4. С. 40–44. doi: 10.31993/2308-6459-2018-4(98)-40-44
3. Замалиева Ф.Ф., Сафиуллина Г.Ф., Сташевски З., Вологин С.Г., Гимаева Е.А. Эффективность защитных обработок в снижении реинфекции У-вирусом семенного картофеля // Защита картофеля. 2016. № 1. С. 9–12.
4. Усков А.И., Бойко В.В. Особенности оздоровления исходного материала сортов картофеля // Картофель и овощи. 1997. № 2. С. 29.
5. Усков А.И. О системе сертификации семенного материала // Картофель и овощи. 2002. № 2. С. 25–26.
6. Банадысев С.А. Мини-клубни картофеля. М.: КнигИздат, 2022. 498 с.
7. Чекалова К.В., Марквичев Н.С. Совмещение биопрепаратов с химическими средствами защиты растений // Картофель и овощи. 2006. № 8. С. 20.
8. Кравченко А.В., Федотова Л.С. Биологические удобрения — важный фактор повышения продуктивности и качества картофеля // Картофель и овощи. 2011. № 4. С. 6–7.
9. Засорина Э.В., Веретенников Е.С. Комплекс «Прорастин + Полистин» на сортах картофеля в условиях Курской области // Главный агроном. 2017. № 12.
10. Лушникова Т.А., Толчинская В.Е. Влияние препарата «Альбит» на некоторые физиологические и биохимические показатели картофеля // Вестник Курганского государственного университета. 2012. № 3 (25). С. 66–70.
11. Курсакова В.С., Золотухина Ю.А. Изучение влияния препаратов корневых diaзотрофов и микоризы на урожайность и качество картофеля в степной зоне Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 11 (169). С. 14–18.
12. Кожемяков А.П., Доросинский Л.М. Биологический азот альтернатива применению минеральных азотных удобрений в земледелии // Микробиологические аспекты охраны среды обитания в условиях интенсивного земледелия. Л.: ВНИИСХМ, 1990. С. 116–120.
13. Мишустин Е.Н., Черенков Н.И. Биологический азот в сельском хозяйстве СССР. М.: Наука, 1989. С. 3–7.
14. Тимофеева С.В. Исследование роли биотических и абиотических факторов в приживаемости индуцируемых бактерий на первых этапах онтогенеза растений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2000. 27 с.
15. Емцев В.Т., Селицкая О.В., Кубарева О.Г., Петров-Спиридонов А.А., Брук М.Х., Захарова С.Н. Ассоциативный симбиоз и его роль в продуктивности сельскохозяйственных растений // Тимирязев и биологическая наука: сб. науч. тр. (к 150-летию со дня рождения К.А. Тимирязева). М., 1994. С. 106–119.
16. Максимов И.В., Веселова С.В., Нужная Т.В., Сарварова Е.Р., Хайруллин Р.М. Стимулирующие рост растений бактерии в регуляции устойчивости растений к стрессовым факторам // Физиология растений. 2015. Т. 62. № 6. С. 763–775. doi: 10.7868/S0015330315060111

References

1. Anisimov BV. European technologies for Russian potato growers. *Potato and vegetables*. 2013;(6):31. (In Russ.).
2. Fomin TS, Medvedeva KD. Virus diseases of potatoes in the north-west of Russia. *Plant Protection News*. 2018;(4):40–44. (In Russ.). doi: 10.31993/2308-6459-2018-4(98)-40-44

3. Zamalieva FF, Safiullina GF, Stashevski Z, Vologin SG, Gimaeva EA. The effectiveness of protective treatments in reducing reinfection with the Y-virus of seed potatoes. *Zashchita kartofelya*. 2016;(1):9–12. (In Russ.).
4. Uskov AI, Boyko VV. Features of improving the initial material of potato varieties. *Potato and vegetables*. 1997;(2):29. (In Russ.).
5. Uskov AI. About the seed material certification system. *Potato and vegetables*. 2002;(2):25–26. (In Russ.).
6. Banadysev SA. *Mini-klubni kartofelya* [Mini-tubers of potatoes]. Moscow; 2022. (In Russ.).
7. Markvichev NS, Chekalova KV, Ignatieva ED. Combining biological products with chemical plant protection products. *Potato and vegetables*. 2006;(8):20–21. (In Russ.).
8. Kravchenko AV, Fedotova LS, Gavrilov AN. Bacterial fertilizers is an important factor of increasing of potato productivity and quality. *Potato and vegetables*. 2011;(4):6–7. (In Russ.).
9. Zazorina EV, Veretennikov ES. The complex “Prorastin + Polystin” on potato varieties in the conditions of the Kursk region. *Chief Agronomist*. 2017;12. (In Russ.).
10. Lushnikova TA, Tolchinskaya VE. Influence of the preparation “Albi” on some physiological and biochemical parameters of potatoes. *Bulletin of the Kurgan State University*. 2012;(3):66–70. (In Russ.).
11. Kursakova VS, Zolotukhina YA. Studying the effect of root diazotroph preparations and mycorrhiza on potato yield and quality in the steppe zone of the Altai region. *Bulletin of Altai State Agraricultural University*. 2018;(11):14–18. (In Russ.).
12. Kozhemyakov AP, Dorosinsky LM. Biological nitrogen as an alternative to the use of mineral nitrogen fertilizers in agriculture. In: *Mikrobiologicheskie aspekty okhrany sredy obitaniya v usloviyakh intensivnogo zemledeliya* [Microbiological aspects of environmental protection in conditions of intensive farming]. Leningrad; 1990. p.16–120. (In Russ.).
13. Mishustin EN, Cherenkov NI. *Mikrobiologicheskie aspekty okhrany sredy obitaniya v usloviyakh intensivnogo zemledeliya* [Biological nitrogen in agriculture of the USSR]. Moscow: Nauka publ.; 1989. (In Russ.).
14. Timofeeva SV. *Issledovanie roli bioticheskikh i abioticheskikh faktorov v prizrivaemosti indutsiruemykh bakterii na pervykh etapakh ontogeneza rastenii* [Investigation of the role of biotic and abiotic factors in the survival rate of induced bacteria at the first stages of plant ontogenesis]. St. Petersburg; 2000. (In Russ.).
15. Yemtsev VT, Selitskaya OV, Kubareva OG, Petrov-Spiridonov AA, Bruk MK, Zakharova SN. Associative symbiosis and its role in the productivity of agricultural plants. In: *Timiryazev and biological science: conference proceedings*. Moscow; 1994. p.106–119. Moscow. (In Russ.).
16. Maksimov IV, Veselova SV, Nuzhnaya TV, Sarvarova ER, Khairullin RM. Bacteria stimulating plant growth in the regulation of plant resistance to stress factors. *Fiziologiya rastenij*. 2015;62(6):763–775. (In Russ.). doi: 10.7868/S0015330315060111

Об авторах:

Малкова Татьяна Сергеевна — младший научный сотрудник, Костромской научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», Российская Федерация, г. Кострома, с. Минское, ул. Куколевского, д. 18; e-mail: malkova-ts2017@yandex.ru
ORCID: 0009–0004–9350–4714 SPIN-код: 5000–8154

Демьянова-Рой Галина Борисовна — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Костромской научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», Российская Федерация, г. Кострома, с. Минское, ул. Куколевского, д. 18; e-mail: gdemjan@yandex.ru
ORCID: 0000–0002–7564–0788 SPIN-код: 1102–6905

About authors:

Malkova Tatyana Sergeevna — Junior Researcher, Kostroma Research Institute of Agriculture — branch of Russian Potato Research Center, 18 Kukolevsky st., Minskoye vil., Kostroma, 156543, Russian Federation; e-mail: malkova-ts2017@yandex.ru
ORCID: 0009–0004–9350–4714 SPIN-code: 5000–8154

Demyanova-Roy Galina Borisovna — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, Kostroma Research Institute of Agriculture — branch of Russian Potato Research Center, 18 Kukolevsky st., Minskoye vil., Kostroma, 156543, Russian Federation; e-mail: gdemjan@yandex.ru
ORCID: 0000–0002–7564–0788 SPIN-code: 1102–6905



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-239-249

EDN: KNZGWR

УДК 633.2:631.582(470.56)

Научная статья / Research article

Продуктивность кормовых монокультур и возделываемых в севообороте в условиях степной зоны Южного Урала

В.Ю. Скороходов 

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий
Российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация
✉ skorohodov.vitali1975@mail.ru

Аннотация. Изучены проблемы производства и увеличения объема кормов для животноводческой отрасли при выращивании сельскохозяйственных кормовых культур в системе севооборота в условиях Южного Урала. Рассмотрена возможность возделывания кормовых культур в бессменных посевах на двух агрофонах. Описаны характерные особенности погодных условий 32 лет исследований, из которых 10 соотносятся с условиями пустыни ($ГТК < 0,4$). На основании изучения возделывания кукурузы на силос в монокультуре установлено, что данный вариант опыта является самым продуктивным как на неудобренном агрофоне (283,62 тыс. кормовых единиц (к.е.) с 3 га пашни), так и при применении минеральных удобрений (303,06 тыс.к.е.). Выращивание ячменя в севообороте с почвозащитным паром обеспечивает выход 67,13 тыс.к.е. культуры с 1 га (в сумме за 1990–2021 гг. эксперимента).

Ключевые слова: агрофон, занятый пар, сегетальная растительность, засухоустойчивость, суданская трава, кукуруза на силос, ячмень, удобрение

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

Финансирование. Исследования соответствуют плану НИР с 2022 по 2024 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2022–0014).

История статьи: поступила в редакцию 14 декабря 2021 г., принята к публикации 26 декабря 2023 г.

Для цитирования: Скороходов В.Ю. Продуктивность кормовых монокультур и возделываемых в севообороте в условиях степной зоны Южного Урала // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 239–249. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-239-249

© Скороходов В.Ю., 2024



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

Productivity of fodder crops cultivated in monoculture and crop rotation in steppe zone of the Southern Urals

Vitaly Y. Skorokhodov 

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, *Orenburg, Russian Federation*

✉ skorokhodov.vitali1975@mail.ru

Abstract. The problems of producing and increasing feed volume for livestock industry when growing agricultural feed crops in crop rotation system in the Southern Urals were studied. The possibility of growing forage crops in permanent cultivation under two fertilization regimes was considered. The characteristic features of climate conditions during 32 years of research were described, 10 of them correspond to desert conditions (hydrothermal index < 0.4). Based on the study of corn cultivation for silage in monocropping, it was established that this variant of the experiment was the most productive both without fertilizer application (283.62 thousand fodder units from 3 hectares of arable land) and when using mineral fertilizers (303.06 thousand fodder units). Growing barley in crop rotation with soil-protective fallow provides the crop yield of 67.13 thousand fodder units from 1 hectare (total for 1990–2021).

Key words: fertilization regime, sown fallow, segetal vegetation, drought resistance, Sudan grass, corn for silage, barley, fertilizer

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

Funding. The study corresponds to the research plan of Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences 2022–2024 (No. FNWZ-2022–0014).

Article history: Received: 14 December 2021. Accepted: 26 December 2023.

For citation: Skorokhodov VY. Productivity of fodder crops cultivated in monoculture and crop rotation in steppe zone of the Southern Urals. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):239–249. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-239-249

Введение

Приоритетным направлением агропромышленного комплекса Российской Федерации является выращивание экологичной продукции высокого качества. В современных системах земледелия применяется научно обоснованное чередование сельскохозяйственных культур в севообороте. Рост нагрузки факторов интенсификации земледелия на окружающую среду и экологию снижается за счет биологизации севооборотов [1–3].

Эффективность земледелия в разных почвенных и климатических условиях достигается путем совершенствования севооборотов по принципу продуктивности и влияния на почвенное плодородие [4, 5].

В засушливых условиях Южного Урала продуктивность полевых культур изучалась в краткосрочных опытах с необъективным подходом без учета благоприятных и засушливых лет [6, 7].

Введение в севообороты высокопродуктивной культуры суданской травы и разработка научно обоснованных технологий возделывания — одно из направлений животноводческой отрасли [8]. В засушливых условиях суданская трава отличается высокой урожайностью, адаптирована к действию высоких температур воздуха и имеет универсальное использование [9].

Постоянный поиск ресурсов для увеличения объема кормов и улучшения их качества остается актуальным и, в этом отношении суданская трава занимает первое место среди однолетних кормовых культур с содержанием в 100 кг зеленой массы 19,0 кормовых единиц (к.е.) и 2,3 кг протеина [10].

Суданская трава относится к культурам с достаточной экологической устойчивостью, превышающей влияние стрессов в экстремальных климатических условиях.

По суточному приросту зеленой массы суданская трава среди однолетних кормовых культур не только не уступает, но и значительно превосходит кукурузу. Засухоустойчивость суданской травы обеспечивается благодаря мощной корневой системе, которая использует влагу глубоких слоев почвы. При производстве грубых, сочных и искусственно обезвоженных кормов первостепенное значение имеет возделывание однолетней культуры суданской травы, имеющей ценные биологические и хозяйственные качества, сочетающиеся с высокой продуктивностью [11–13].

Один из источников увеличения питательности концентрированных кормов — зернофуражная культура ячменя. В Оренбургской области доля ячменя в структуре посевных площадей составляет 20...25 % [14].

Культура ячменя хорошо отзывается на внесение минеральных удобрений, при этом ее продуктивность, по мнению Н.А. Максютова [15], во влажные годы возрастает на 0,8 т зерна с 1 га [16].

Зерновые культуры отзывчивы на внесение минеральных удобрений и увеличивают продуктивность при выполнении остальных агроприемов [17].

Возделывание кормовых монокультур возможно при высокой потребности конкретного растениеводческого сырья. Длительные опыты с бессменными посевами кормовых культур на фоне меняющегося климата широко представлены в западных странах (США, Германии, Дании и др.) [18, 19].

Негативный почвенный процесс при потере гумуса малозаметен, но идет постоянно. Для улучшения плодородия почвы необходимо вводить в севообороты сидеральные пары и промежуточные культуры с запашкой сидеральной массы и корневых остатков. Зарубежные ученые указывают на увеличение почвенного плодородия при запашке корневых и стерневых остатков, которое превышает действие органических удобрений [20, 21]. В севооборотах с сидеральным паром процессы минерализации гумуса снижаются.

Цель исследования — определить потенциальные возможности и уровень урожайности полевых культур, используемых на корм животным при возделывании в монокультуре и разных севооборотах.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования выступают полевые культуры кормового назначения (кукуруза на силос, суданская трава, ячмень и двухкомпонентная смесь гороха с овсом), а также почвообразцы этих вариантов.

Опытный участок находится на территории Оренбургской области в координатах: 51.775125° с.ш., 55.306547° в.д.

Почва опытного участка относится к чернозему южному карбонатному малогумусному тяжелого механического состава. В слое 0–30 см почвы гумуса от 3,2 до 4,0 %, общего азота 0,20...0,31 %, фосфора 0,14...0,22 %, калия 30...38 мг на 100 г почвы.

Кормовые культуры изучались по схеме:

1. В занятом (вторая половина лета) севообороте первым полем — суданская трава летнего срока сева, четвертым — кукуруза на силос, шестым — ячмень.

2. В занятом (первая половина лета) севообороте первым полем — двухкомпонентная смесь гороха и овса, четвертым — кукуруза на силос, шестым — ячмень.

3. Монопосевы кукурузы на силос и ячменя.

В целом схема шестипольного севооборота имеет вид: первым полем — занятые пары, вторым полем — пшеница твердая яровая, третьим полем — пшеница мягкая яровая, четвертым полем — кукуруза на силос, пятым полем — пшеница мягкая яровая, шестым полем — ячмень.

Полевые культуры возделывались на двух агрофонах питания — удобрённом ($N_{40}P_{80}K_{40}$) и без удобрений. Размер и площадь делянок на удобрённом фоне 108 м² (3,6 × 30 м), без удобрения 216 м² (3,6 × 60 м). Учетная площадь при уборке ячменя на зерно составила на удобрённом фоне 60 м², на неудо­бренном — 120 м². Урожайность суданской травы и горохоовсяной смеси учитывалась метровыми накладками в 10 местах на удобрённом и неудо­бренном фонах (учетная площадь 10 м²). Продуктивность кукурузы учитывалась при срезании двух рядов растений по длине делянки удобрённого фона (30 м) и одного рядка по неудо­бренному фону (60 м). Срезанная листостебельная масса кормовых культур взвешивалась на площадочных весах и затем приводилась к урожайности на 1 га.

Сорта и гибриды высеваемых культур: суданская трава — Бродская 2, кукуруза на силос — РОСС-144МВ, ячмень — Натали, горох — Чишминский 210, овес — Скакун.

Результаты исследования и обсуждение

Годы эксперимента включают все многообразие погодных условий от влажных до очень засушливых лет с низким ГТК периода вегетации.

Изменение продуктивности суданской травы в течении 32 лет эксперимента на двух фонах почвенного питания и соизмерение с ГТК периода вегетации полевых культур показаны на графиках (рис. 1).

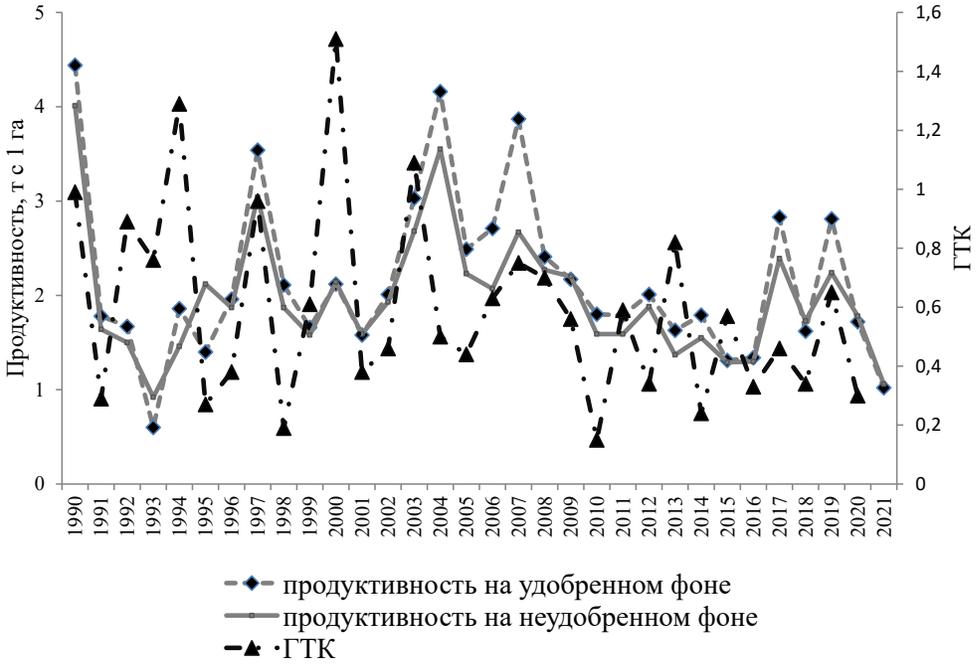


Рис. 1. Продуктивность суданской травы (*Sorghum sudanense*) на двух агрофонах питания за 1990–2021 гг.

Источник: выполнил В.Ю. Скороходов

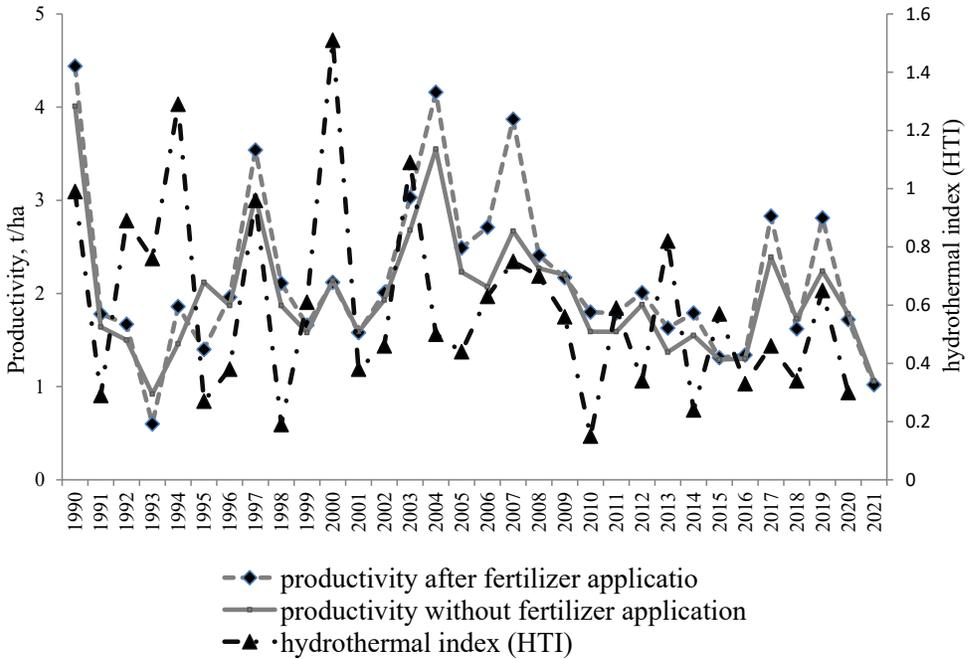


Fig. 1. Productivity of Sudan grass (*Sorghum sudanense*) under two fertilization regimes in 1990–2021

Source: created by V.Y. Skorokhodov

За тридцать два года эксперимента слабую засушливость (ГТК = 1,0...1,3) отмечали дважды: в 1994 и 2000 г.; умеренную (ГТК 0,7...1,0) — в течение 7 лет (1990, 1997, 2003, 2006–2008, 2013 гг.), очень сильная засуха (ГТК = 0,4...0,7) наблюдалась 13 лет (1992, 1993, 1999, 2004, 2005, 2009, 2011, 2012, 2014–2017, 2019) и условия пустыни (ГТК < 0,4) — 10 лет (1991, 1995, 1996, 1998, 2001, 2002, 2010, 2018, 2020, 2021 гг.).

Наибольшая продуктивность суданской травы получена в 1990 г. на агрофоне с применением удобрений (4,44 тыс. к. е. с 1 га) и без удобрений (4,01 тыс. к. е. на 1 га). Также, наибольший сбор суданской травы на удобренном и неудобренном фоне соответственно составил в 1997 г. — 3,54 и 3,04 тыс., в 2003 г. — 3,03 и 2,68 тыс., в 2004 г. — 4,16 и 3,55 тыс., в 2007 г. — 3,87 и 2,67 тыс. к. е. на 1 га.

Важной составляющей оценки сельскохозяйственных культур, возделываемых бессменно и в севооборотах, является продуктивность. Нами подсчитана продуктивность кормовых культур за длительный промежуток времени на основании полученной урожайности за 1990–2021 гг. в севооборотах и бессменно на двух фонах питания (таблица).

Продуктивность кормовых культур в севообороте и при моновозделывании на двух агрофонах питания (в сумме за 1990–2021 гг.)

Варианты пара в севооборотах, монопосевы	Культура	Фон питания	Выход по культурам (сумма), тыс. к. е.	НСР ₀₅		Выход, тыс. к. е.	
						Обменная энергия, МДж, с 3 га, сумма за 1990–2021 гг.	
						А	В
Занятый (во второй половине лета)	Суданская трава	А	69,24	0,36	0,14	<u>229,02</u> 996,99	<u>221,25</u> 985,89
		В	63,11	0,27			
	Кукуруза	А	106,86	0,87	0,27		
		В	101,01	0,82			
	Ячмень	А	52,92	0,53	0,10		
		В	57,13	0,48			
Занятый (в первой половине лета)	Злаково-бобовая смесь	А	78,62	0,51	0,20	<u>245,23</u> 1117,36	<u>221,88</u> 996,39
		В	67,92	0,44			
	Кукуруза	А	104,78	0,89	0,37		
		В	99,76	0,77			
	Ячмень	А	61,83	0,51	0,13		
		В	54,20	0,41			
Бессменная кукуруза		А	101,02	0,86	0,32	<u>303,06</u> 709,16	<u>283,62</u> 663,67
		В	94,54	0,85			
Бессменный ячмень		А	51,75	0,51	0,13	<u>155,25</u> 1676,70	<u>147,33</u> 1591,16
		В	49,11	0,47			

Примечание. А — удобренный фон; В — неудобренный фон; под чертой содержание обменной энергии (ОЭ) по перевариваемым питательным веществам.

Productivity of forage crops in crop rotation and monocropping under two fertilization regimes (total for 1990–2021)

Variant	Crop	Fertilization regime	Yield by crop (total), thousand fodder units	LSD ₀₅		Yield, thousand fodder units	
						Exchange energy, MJ, from 3 hectares, amount for 1990–2021	
						A	B
Sown fallow (the second half of summer)	Sudan grass	A	69.24	0.36	0.14	<u>229.02</u> 996.99	<u>221.25</u> 985.89
		B	63.11	0.27			
	Corn	A	106.86	0.87	0.27		
		B	101.01	0.82			
	Barley	A	52.92	0.53	0.10		
		B	57.13	0.48			
Sown fallow (the first half of summer)	Legume-grass mixture	A	78.62	0.51	0.20	<u>245.23</u> 1117.36	<u>221.88</u> 996.39
		B	67.92	0.44			
	Corn	A	104.78	0.89	0.37		
		B	99.76	0.77			
	Barley	A	61.83	0.51	0.13		
		B	54.20	0.41			
Permanent corn		A	101.02	0.86	0.32	<u>303.06</u> 709.16	<u>283.62</u> 663.67
		B	94.54	0.85			
Permanent barley		A	51.75	0.51	0.13	<u>155.25</u> 1676.70	<u>147.33</u> 1591.16
		B	49.11	0.47			

Note. A – with fertilizer application; B – without fertilizer application; below the line – the content of metabolic energy (ME) for digestible nutrients.

Наиболее продуктивная в кормовом отношении культура — кукуруза на силос, возделываемая после занятого суданской травой пара.

Сумма сбора за годы эксперимента по этому варианту составила на фоне удобрения 106,86 тыс., на неудобренном фоне — 101,01 тыс.к.е. Сбор кукурузы на силос при моновозделывании составил на удобренном фоне 101,02 тыс.к.е., на неудобренном — 94,54 тыс.к.е. Для сопоставления продуктивности кормовых культур в севооборотах и бессменных посевах подсчитан выход с 3 га. Выход кормовой продукции с 3 га севооборотной площади с занятым (летним посевом суданской травы) паром составил на удобренном фоне 229,02 тыс. и неудобренном 221,25 тыс.к.е., с занятым (горохо-овсяной смесью) паром соответственно по фонам — 245,23 и 221,88 тыс.к.е.

В севообороте с занятым (суданской травой) паром продуктивность ячменя на неудобренном фоне выше, чем по удобренному фону (рис. 2).

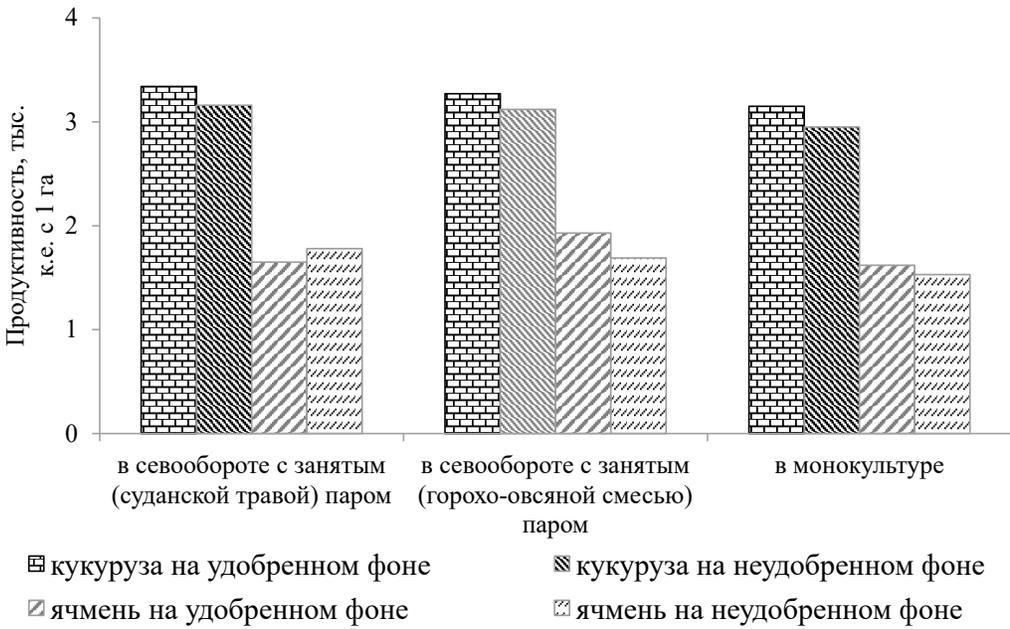


Рис. 2. Продуктивность кукурузы на силос, ячменя, возделываемых в севооборотах и монопосевах на двух агрофонах питания

Источник: выполнил В.Ю. Скороходов

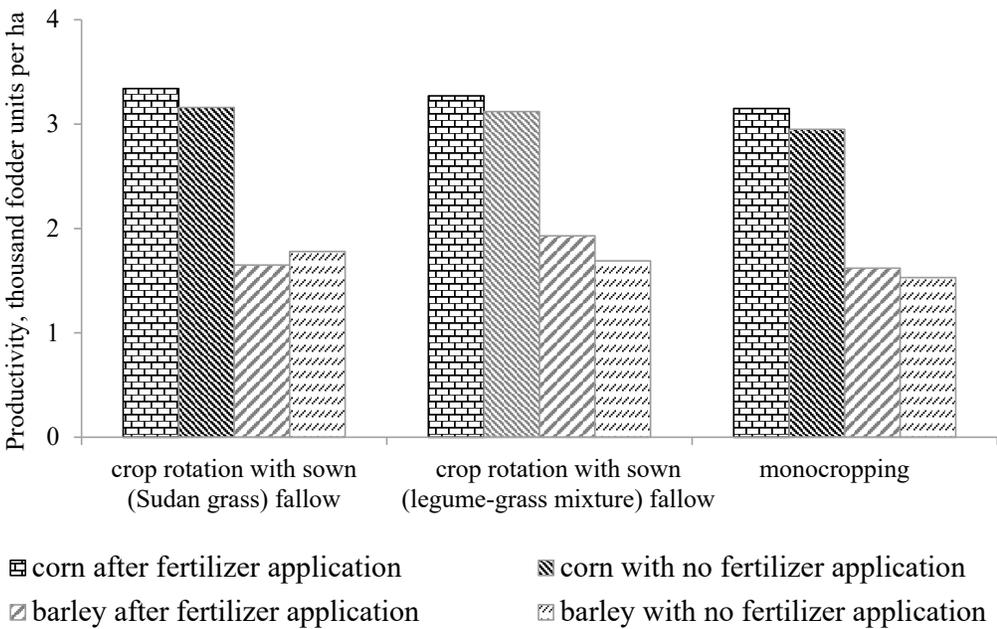


Fig. 2. Productivity of corn for silage, barley cultivated in crop rotations and monocroppings under two fertilization regimes

Source: created by V.Y. Skorokhodov

Продуктивность при моновоплодывании кукурузы на силос с 3 га (в сумме за годы исследований) на фоне минеральных удобрений 303,06 тыс., на неудобренном — 283,62 тыс. к. е. Воплодывание кукурузы на силос в монокультуре является самым высокопродуктивным вариантом среди изучаемых в опыте. Без применения минеральных удобрений в севооборотах получен одинаковый выход (221 тыс. к. е. с 3 га). Наименьший сбор за годы проведения эксперимента в варианте с моновоплодыванием ячменя на неудобренном фоне без применения минеральных удобрений — 147,33 тыс. и на удобренном — 155,25 тыс. к. е. с 3 га. Превышение урожайности ячменя на неудобренном фоне связано в первую очередь с большей засоренностью многолетними корневищными и корнеотпрысковыми сорняками в севообороте с занятым паром. В севообороте с занятым суданской травой паром отмечается наибольшее количество многолетней сегетальной растительности (особенно на удобренном фоне), интенсивно использующей питательные вещества и почвенную влагу, тем самым отбирая их у культурных растений.

Заклучение

1. Воплодывание кукурузы на силос в монокультуре — наиболее высокопродуктивный вариант среди изучаемых в опыте. Моновоплодывание кукурузы приводит к продуктивности (в сумме за 1990–2021 гг.) по удобренному фону 303,06 тыс. к. е., по неудобренному — 283,62 тыс. к. е. с 3 га пашни. В то же время наиболее ценным в энергетическом отношении является вариант монопосева ячменя.

2. На основе изучения продуктивности суданской травы установлен наибольший валовый сбор (4,44 тыс. к. е. с 1 га) в 1990 г. при применении минеральных удобрений.

3. Применение занятого (с посевом суданской травы) пара положительно влияет на урожайность ячменя без применения минеральных удобрений. Выход кормовых единиц ячменя на неудобренном фоне в севообороте (в сумме за 1990–2021 г.) составил 57,13 тыс. к. е.

Список литературы

1. Лошаков В.Г. Эффективность отдельного и совместного использования севооборота и удобрений // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 1. С. 9–13.
2. Brankatschk G., Finkbeiner M. Modeling crop rotation in agricultural LCAs — challenges and potential solutions // *Agricultural Systems*. 2015. Vol. 138. P. 66–76. doi: 10.1016/j.agry.2015.05.008
3. Brankatschk G., Finkbeiner M. Crop rotations and crop residues are relevant parameters for agricultural Carbon footprints // *Agronomy for Sustainable Development*. 2017. Vol. 37. P. 58. doi: 10.1007/s13593–017–0464–4
4. Мищенко А.Е., Кисс Н.Н., Гаевая Э.А., Васильченко А.П., Мищенко А.В. Почвозащитные мероприятия при воплодывании полевых культур в системе контурно-полосной организации эрозийно-опасного склона // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 2. С. 49–53.
5. Козлова Л.М., Носкова Е.Н., Попов Ф.А. Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019. № 20 (5). С. 467–477.
6. Воскобулова Н.И., Неверов А.А., Верещагина А.С. Экономическая эффективность применения регуляторов роста в технологии воплодывания кукурузы на зерно // *Известия ОГАУ*. 2017. № 3 (65). С. 44–46.

7. Скорыходов В.Ю. Урожайность кукурузы на силос в севооборотах и при бессменном возделывании в зависимости от предшественника на двух уровнях интенсификации в степной зоне Южного Урала // Известия ОГАУ. 2020. № 2 (82). С. 68–72. doi: 10.37670/2073-0853-2020-82-2-68-72
8. Ковтунова Н.А. Биологические особенности роста и развития суданской травы // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 6. С. 48–51.
9. Плескачев Ю.Н., Лаптина Ю.А., Гиченкова О.Г., Куликова Н.А. Продуктивность и питательная ценность суданской травы при возделывании на зеленый корм // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 28–33. doi: 10.28983/asj.y2021i8pp28-33
10. Капустин С.И., Володин А.Б., Капустин А.С. Продуктивность суданской травы сорта Спутница в степной зоне Северного Кавказа // Известия ОГАУ. 2018. № 5. С. 102–104.
11. Шишова Е.А. Качество зеленой массы суданской травы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 2. С. 145–151.
12. Лиховцова Е.А., Николайченко Н.В., Норовяткин В.И. Влияние азотно-фосфорных удобрений на плодородие темно-каштановой почвы и продуктивность различных сортов суданской травы // Аграрный научный журнал. 2015. № 1. С. 26–28.
13. Лаптина Ю.А., Куликова Н.А. Приемы повышения продуктивности суданской травы в сухостепной зоне Нижнего Поволжья // Известия НВ АУК. 2021. № 1 (61). С. 211–221.
14. Тишков Н.И., Тимошенко Т.А. Результаты и перспективы селекции ярового ячменя в Оренбуржье // Повышение эффективности сельскохозяйственного производства в степной зоне Урала. Оренбург, 2012. С. 221–231.
15. Максюттов Н.А. Оценка эффективности беспаровых севооборотов и бессменных посевов сельскохозяйственных культур // Наука и хлеб. 1996. Вып. 4. С. 136–143.
16. Скорыходов В.Ю. Урожайность ячменя в шестипольных севооборотах на черноземах южных степной зоны Южного Урала // Известия ОГАУ. 2019. № 5 (79). С. 93–97.
17. Кирюшин В.И. Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования // Достижения науки и техники АПК. 2016. № 30 (3). С. 19–25.
18. Miles R.J., Brown J.R. The Sanborn field experiment implication for long — term soil organic carbon levels // Agronomy Journal. 2011. Vol. 103. № 1. P. 268–278. doi: 10.2134/agronj2010.0221s
19. Скорыходов В.Ю. Продуктивность полевых монокультур и возделываемых в севообороте в зависимости от содержания нитратного азота и биологической активности почвы на черноземах южных степных районов Южного Урала // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1 (53). С. 60–67. doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-60-67
20. Hirte J., Leifeld J., Abiven S., Oberholzer H.R., Hammelehle A., Mayer J. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter // Front Plant Sci. 2017. № 8. P. 284. doi: 10.3389/fpls.2017.00284
21. Ghimire B., Ghimire R., Vanleeuwen D., Mesbah A. Cover crop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization // Sustainability. 2017. Vol. 9. № 12. С. 2316. doi: 10.3390/su9122316

References

1. Loshakov VG. Effectiveness of separate and combined use of crop rotation and fertilizers. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2016;30(1):9–13. (In Russ.).
2. Brankatschk G, Finkbeiner M. Modeling crop rotation in agricultural LCAs — challenges and potential solutions. *Agricultural Systems*. 2015;138:66–76. doi: 10.1016/j.agsy.2015.05.008
3. Brankatschk G, Finkbeiner M. Crop rotations and crop residues are relevant parameters for agricultural Carbon footprints. *Agronomy for Sustainable Development*. 2017;37:58. doi: 10.1007/s13593-017-0464-4
4. Mishchenko AE, Kiss NN, Gaevaya EA, Vasilchenko AP, Mishchenko AV. Soil protection measures at crops cultivation in contour strip organization of erosion threatening slope. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2016;30(2):49–53. (In Russ.).
5. Kozlova LM, Noskova EN, Popov FA. Improvement of crop rotations aimed at increasing their efficiency and conserving soil fertility in conditions of biological intensification. *Agricultural Science of Euro-North-East*. 2019;20(5):467–477. (In Russ.). doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477
6. Voskobulova NI, Neverov AA, Vereshchagina AS. Economic efficiency of applying growth regulators in the cultivation technology of corn for grain. *Izvestia OSAU*. 2017;(3):44–46. (In Russ.).

7. Skorokhodov VY. Yield of maize for silage in crop rotations and during permanent cultivation, depending on the predecessor at two intensification levels in the steppe zone of South Urals. *Izvestia OSAU*. 2020;(2):68–72. (In Russ.). doi: 10.37670/2073–0853–2020–82–2–68–72
8. Kovtunova NA. Biologic characteristics of growing and development of Sudan grass. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2016;30(6):48–51. (In Russ.).
9. Pleskachev YN, Laptina YA, Gichenkova OG, Kulikova NA. Productivity and nutritional value of Sudanese grass when cultivated for green fodder. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;(8):28–33. (In Russ.). doi: 10.28983/asj.y2021i8pp28–33
10. Kapustin SI, Volodin AB, Kapustin AS. productivity of Sudan grass of “Sputnitsa” variety in the steppe zone of North Caucasus. *Izvestia of OSAU*. 2018;(5):102–104. (In Russ.).
11. Shishova EA. Quality of the green mass of the Sudan herbs. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2017;(2):145–151. (In Russ.).
12. Likhovtsova EA, Nikolaichenko NV, Norovyatkin VI. Influence of nitrogen-phosphorus fertilizers on fertility of dark chestnut soils and productivity of different Sudan grass varieties. *Agrarian Scientific Journal*. 2015;(1):26–28. (In Russ.).
13. Laptina YA, Kulikova NA. Techniques for increasing the productivity of Sudan grass in the dry-steppe zone of the Lower Volga region. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2021;(1):211–221. (In Russ.). doi: 10.32786/2071–9485–2021–01–21
14. Tishkov NI, Tishkov DN, Timoshenkova TA. Results and prospects for selection of spring barley in the Orenburg region. In: *Increasing the efficiency of agricultural production in the steppe zone of the Urals: conference proceedings*. Orenburg; 2012. p.221–231. (In Russ.).
15. Maksyutov NA. Assessing the effectiveness of fallowless crop rotations and permanent sowing of agricultural crops. In: *Science and Bread (theory and practice)*. Vol. 4. Orenburg; 1996. p.136–143. (In Russ.).
16. Skorokhodov VY. The yields of barley grown in six-field crop rotations on southern chernozems of the steppe zone of South Urals. *Izvestia OSAU*. 2019;(5):93–97. (In Russ.).
17. Kiryushin VI. Mineral fertilizers as the key factor of agriculture development and optimization of nature management. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2016;30(3):19–25. (In Russ.).
18. Miles RJ, Brown JR. The Sanborn field experiment implication for long — term soil organic carbon levels. *Agronomy Journal*. 2011;103(1):268–278. doi: 10.2134/agronj2010.0221s
19. Skorokhodov VY. Productivity of field and cultivated in crop rotation monocultures depending on the content of nitrate nitrogen and soil biological activity in the black soils of the southern steppe regions of the Southern Urals. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;(1):60–67. (In Russ.). doi: 10.18286/1816–4501–2021–1–60–67
20. Hirte J, Leifeld J, Abiven S, Oberholzer HR, Hammelehle A, Mayer J. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter. *Front Plant Sci*. 2017;8:284. doi: 10.3389/fpls.2017.00284
21. Ghimire B, Ghimire R, Vanleeuwen D, Mesbah A. Cover crop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization. *Sustainability*. 2017;9(12):2316. doi: 10.3390/su9122316

Об авторе:

Скоруходов Виталий Юрьевич — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, пр-т Гагарина, д. 27/1; e-mail: skorokhodov.vitali1975@mail.ru
ORCID: 0000–0003–4179–7784 SPIN-код: 2494–0672

About author:

Skorokhodov Vitaly Yuryevich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin ave., Orenburg, 460051, Russian Federation; e-mail: skorokhodov.vitali1975@mail.ru
ORCID: 0000–0003–4179–7784 SPIN-code: 2494–0672



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-250-268

EDN: KOJVUG

УДК 574/577

Научная статья / Research article

Влияние термовермикулита на рост и развитие овощных культур на ювенильном этапе онтогенеза

М.А. Ярцева  , И.П. Кременецкая ,
Л.А. Иванова , М.В. Слуковская 

Кольский научный центр РАН, г. Анатиты, Российская Федерация

 468975@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты экспериментов по использованию вспученного вермикулита для проращивания семян пяти видов овощных культур, перспективных для выращивания в условиях Кольской Субарктики: свекла столовая (*Beta vulgaris* L.), капуста белокочанная (*Brassica oleracea* L.), капуста цветная (*Brassica oleracea* L. var. botrytis L.), капуста пекинская (*Brassica rapa* L. Chinese Cabbage Group), салат кочанный (*Lactuca sativa* L.). Использованы два вида субстратов из вермикулита Ковдорского месторождения, отличающихся по условиям обжига, в качестве контроля — агропочва. Показатели роста и развития растений на ювенильном этапе онтогенеза статистически значимо ($p < 0,005$) отличались для трех вариантов эксперимента. Лучшие результаты получены в вариантах с применением вермикулитовых субстратов, которые способствовали более интенсивному, по сравнению с почвой, прорастанию семян, росту надземной части и корней сеянцев всех пяти овощных культур. Достоверные отличия в накоплении проростками зеленой биомассы были отмечены только в опыте со свеклой столовой. У других четырех видов разница в массе сеянцев была несущественной. Термовермикулит марки ТВ2-Н, полученный обжигом в инновационной печи конструкции А.И. Нижегородова, оказал более выраженное по сравнению с термовермикулитом марки Випон-2 положительное влияние на прорастание семян, рост сеянцев и длину корневой системы проростков изученных видов овощных культур. Субстрат ТВ2-Н рекомендован для применения в растениеводстве при проращивании семян овощных культур.

Ключевые слова: вермикулит, фазы развития, сельскохозяйственные растения, прорастание, всхожесть, Субарктика, Мурманская область

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

Финансирование. Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме НИР «Стратегия развития и содержания коллекционных фондов ПАБСИ, как базы для проведения научных

© Ярцева М.А., Кременецкая И.П., Иванова Л.А., Слуковская М.В., 2024



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

изысканий в области интродукции и экологии в Арктической зоне РФ» (рег. № 1023032400462–1–1.6.19;1.6.20;1.6.4;1.6.11). Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. История статьи: поступила в редакцию 9 декабря 2023 г., принята к публикации 25 января 2024 г.

Для цитирования: Яртева М.А., Кременецкая И.П., Иванова Л.А., Слуковская М.В. Влияние термовермикулита на рост и развитие овощных культур на ювенильном этапе онтогенеза // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 250—268. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-250-268

The effect of thermovermiculite on the early stages of vegetable growth and development

Maria A. Yartseva  , Irina P. Kremenetskaya ,
Lyubov A. Ivanova , Marina V. Slukovskaya 

Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, *Apatity, Russian Federation*

 468975@mail.ru

Abstract. Laboratory experiments on the use of expanded vermiculite for seed germination of five vegetable plant species promising for cultivation in the Kola Subarctic (*Beta vulgaris* L., *Brassica oleracea* L., *Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L., *Brassica rapa* L. Chinese Cabbage Group, *Lactuca sativa* L.) were carried out. The research used two types of substrates from Kovdor vermiculite differing in firing conditions; agricultural soil was used as a control. Plant growth and development at the juvenile stage of ontogenesis differed significantly ($p < 0.005$) for three variants of the experiment. The best results were obtained in the variants with the use of vermiculite substrates, which promoted more intensive seed germination, growth of shoots and roots in seedlings of all five vegetable crops, compared to the control (soil). Significant differences in accumulation of green biomass by seedlings were observed only in the experiment with beetroot. In the other four species, the difference in seedling weight was insignificant. New type of thermovermiculite (TV2-H), obtained by firing in an innovative furnace of A.I. Nizhegorodov's design, had a more pronounced positive effect on seed germination, seedling growth and root length of the studied species of vegetable crops, compared with Vipon-2 thermovermiculite. TV2-H thermovermiculite can be recommended for the use in crop production for germination of vegetable seeds.

Key words: vermiculite, ontogenesis, vegetable crops, sprouting, germination, Subarctic, Murmansk region

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Funding. Acknowledgements. The work was carried out within the framework of a state assignment on the research topic “Strategy for the development and maintenance of PABSI collection funds as a basis for conducting scientific research in the field of introduction and ecology in the Arctic zone of the Russian Federation” (reg. No. 1023032400462–1–1.6.19; 1.6.20; 1.6.4;1.6.11). The author would like to thank the reviewers for their contribution to the peer review of this paper.

Article history: Received: 9 December 2023. Accepted: 25 January 2024.

For citation: Yartseva MA, Kremenetskaya IP, Ivanova LA, Slukovskaya MV. The effect of thermovermiculite on the early stages of vegetable growth and development. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):250—268. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-250-268

Введение

Жизненный цикл (онтогенез) растений условно можно разделить на несколько этапов. Каждый из них имеет свои отличительные особенности развития и роста структурных элементов организма, которые имеют отношение к их целевому предназначению. У двудольных цветковых растений предгенеративный период включает эмбриональный, ювенильный и виргинильный этапы онтогенеза [1]. В свою очередь ювенильный этап состоит из прорастания зародыша и включает три последовательные фазы: физическую (семена поглощают воду и набухают), биохимическую (превращение нерастворимых запасных веществ в растворимые) и морфологическую (начало роста зародыша) (рис. 1) [2]. Ювенильный этап является этапом доминирования ростовых процессов вегетативных органов — семя прорастает, образуется корневая система, растут стебель и листья. Как правило, процесс прорастания семени может длиться от трех до семи дней, после чего растение входит в стадию роста рассады, которая обычно длится в течение одного месяца.



Рис. 1. Последовательность процессов прорастания сухих семян цветковых двудольных растений: 1 — покой; 2 — набухание; 3 — наклевывание; 4 — рост первичных корешков; 5 — развитие ростка; 6 — становление ростка

Источник: фото М.А. Ярцевой

Fig. 1. Sequence of germination processes in dry seeds of dicotyledonous plants: 1 — dormancy; 2 — swelling; 3 — chitting; 4 — growth of primary roots; 5 — sprout development; 6 — sprout establishment

Source: photo by Maria A. Yartseva

Изучение роста и развития проростков семян — один из наиболее перспективных путей выявления потенциальных и адаптивных возможностей видов и может служить основой направленного отбора более устойчивых особей, что очень важно для успешного культивирования растений [3].

Выращивание здоровых и продуктивных растений из семени сложно, поскольку скорость обмена веществ и направленность процессов, происходящих в прорастающих семенах, во многом зависят не только от их состава и физиологического состояния, но и в значительной степени от обеспеченности влагой и кислородом, наличия подходящего для конкретного вида растений температурного и светового режима. Только в таких условиях жизнеспособное семя выходит из состояния анабиоза и зародыш начинает свое развитие [4]. Процесс роста зародыша из семян у большинства видов растений начинается при содержании воды в среде прорастания на уровне 20...40% (исключение составляют семена с повышенным содержанием

белка, прорастающие при более высоком уровне влажности — 50...60%). Однако для дальнейшего полного формирования проростков требуется еще большая влажность среды — 85...95% [5, 6].

В качестве благоприятной среды для прорастания семян, обеспечивающей надлежащую влажность и наличие кислорода, могут служить воздухо- и влагоемкие субстраты-почвозаменители (перлит, термовермикулит, гидрогель, торф, сфагновый мох, опилки и др.). Из них наиболее перспективным общепризнан термовермикулит [7]. Он представляет собой гофрированные гранулы («гармошки»), состоящие из вспученных при обжиге пластинок минерала вермикулита [8] (рис. 2).



Рис. 2. Вспученные гофрированные гранулы термовермикулита

Источник: фото М.А. Ярцевой

Fig. 2. Expanded corrugated granules of thermovermiculite

Source: photo by Maria A. Yartseva

В Мурманской области, близ г. Ковдор, было открыто одно из богатейших в мире месторождений вермикулита [9]. Начиная с 1963 г. сотрудниками Кольского научного центра РАН проводятся научные исследования по созданию технологий эффективного применения ковдорского вермикулита в растениеводстве, в частности, для гидропонного культивирования одно- и многолетних культур защищенного грунта [10], выращивания травяной ковровой дернины (открытый грунт) [11], рассады овощных и декоративно-цветочных культур [12], в т. ч. для посева семян разных видов культурных растений [13]. Первоначально на предприятии «Ковдорслюда»

выпускался крупнофракционированный золотисто-коричневый вермикулитовый наполнитель, затем несколько модификаций субстратов марки «Верпон» и «УВС». В 2004 г. была разработана усовершенствованная электрическая печь, на которой получали вермикулитовый субстрат пяти модификаций «Випон» [14–16].

Задача по повышению эффективности тепловых агрегатов для обжига вермикулита успешно решена в конструкции электрической модульно-спусковой печи, разработанной под руководством д-ра техн. наук А.И. Нижегородова, заведующего кафедрой строительных, дорожных машин и гидравлических систем Иркутского национального исследовательского технического университета.

Экземпляр печи для выполнения исследований по тематике ИХТРЭМС КНЦ РАН изготовлен в ООО «Центр экспериментальной отработки инноваций» (директор А.В. Звездин). Электрическая модульно-спусковая печь (ЭМСП) предназначена для непрерывной высокотемпературной обработки вермикулита и сунгулита или их конгломератов [17]. По энергоэффективности ЭМСП превосходят традиционные огневые печи, работающие на углеводородном топливе [18].

Особенностью модульно-спусковой печи является использование электрической энергии для термической обработки сыпучих минералов. В пространстве обжига наклонных электрических модулей, на специальных токопроводящих головках продольно потоку сыпучей среды установлены электрические нагреватели, выполненные из полосового нихрома. Пространства между соседними полосами образуют тепловые камеры, в которых создается локализованное тепловое поле, воздействующее непосредственно на сыпучую среду, движущуюся вдоль камер. Термокрышки модулей, расположенные над нагревателями, замыкают пространство обжига.

Благодаря локализации теплового излучения, направленного непосредственно на обрабатываемый материал, удельная энергоемкость процесса обжига вермикулита в таких печах составляет 155...170 КДж/м³, тогда как в огневых печах, работающих на углеводородном топливе, она не опускается ниже 210...230 КДж/м³ [17].

Исследовано влияние температуры обжига на свойства термовермикулита, полученного в печи конструкции А.И. Нижегородова (вермикулит маркирован как ТВ-Н). Установлено, что оптимальными условиями обжига является температура 500 °С [18].

Свойства полученного вермикулита сравнили с характеристиками промышленного образца — вспученного вермикулита марки ВИПОН (производитель — ООО «Випон»). При определении режимов обжига субстратов марки Випон стремились к максимальному вспучиванию, которое сочеталось бы со слабой структурой минерала и высокой прочностью суспензионного раствора, а также высоким рН воды [16].

В нашем исследовании вермикулит марки ВИПОН представлен в качестве эталонного субстрата. Вермикулит, полученный с использованием печи конструкции А.И. Нижегородова (маркировка ТВ2-Н), исследован с точки зрения его применения в агротехнологиях.

Цель исследования заключается в сравнительной оценке влияния разных типов субстратов на рост и развитие пяти видов овощных культур на ювенильном этапе онтогенеза.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования — три субстрата и пять овощных культур (табл. 1). При выборе культур предпочтение отдавалось наиболее популярным у населения овощным растениям, сорта которых включены в Госреестр по Мурманской области и рекомендованы для выращивания в условиях Кольского Заполярья.

Таблица 1

Характеристики овощных культур

№ опыта	Культура	Вид	Сорт	Репродукция семян	Всхожесть,%
1	Свекла столовая	<i>Beta vulgaris</i> L.	'Бордо 237'	Фирма «Гавриш»	88
2	Капуста белокочанная	<i>Brassica oleracea</i> L.	'Номер первый Полярный к 206'	ВИР (Полярная опытная станция)	70
3	Капуста цветная	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>Botrytis</i> L.	'Сноуболл 123'	Фирма «Гавриш»	62
4	Капуста пекинская	<i>Brassica rapa</i> L. Chinese Cabbage Group	'Хибинская'	ВИР (Полярная опытная станция)	100
5	Салат кочанный	<i>Lactuca sativa</i> L.	'Кучерявец одесский'	Фирма «Гавриш»	80

Table 1

Characteristics of vegetable crops

Experiment	Crop	Species	Cultivar	Seed reproduction	Germination,%
1	Beetroot	<i>Beta vulgaris</i> L.	'Bordo 237'	"Gavriush" company	88
2	Cabbage	<i>Brassica oleracea</i> L.	'Nomer pervyy Polyarnyy k 206'	Vavilov Institute of Plant Industry (Polar experimental station)	70
3	Cauliflower	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>botrytis</i> L.	'Snowball 123'	"Gavriush" company	62
4	Chinese cabbage	<i>Brassica rapa</i> L. Chinese Cabbage Group	'Khibinskaya'	Vavilov Institute of Plant Industry (Polar experimental station)	100
5	Lettuce	<i>Lactuca sativa</i> L.	'Kucheryavets odesskiy'	"Gavriush" company	80

Характеристика субстратов. Мелкофракционированный термовермикулит марки Випон-2 использован как эталонный материал, уже прошедший испытание в растениеводстве и рекомендованный в качестве универсального субстрата для посева семян, укоренения черенков, выращивания рассады и зеленных культур. Этот искусственный субстрат обладает рядом превосходных свойств, которые отличают его от других. Особенно важны при посеве и проращивании семян его высокая влагоемкость и влагоудерживающая способность, легкость, буферность, стерильность и воздухопроницаемость [19].

Мелкофракционированный термовермикулит марки ТВ2-Н, как и более ранние и известные типы термовермикулитов, получен из ковдорского вермикулитового концентрата. Однако его обжиг был произведен в другом тепловом агрегате — инновационной ЭМСП, разработанной на базе ООО «Квалитет» (г. Иркутск) сотрудником Национального исследовательского Иркутского государственного технического университета А.И. Нижегородовым [17], поэтому характеризуется другими физико-химическими свойствами [20].

По сравнению с вермикулитом марки Випон-2 у вспученного вермикулита, полученного на ЭМСП, меньшая насыпная плотность и он является более щелочным, удерживающим меньшее количество влаги, впервые проходит испытание в растениеводстве с точки зрения возможности его применения в агротехнологиях (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики субстратов

Субстрат	Показатель					
	Размер частиц, мм	Насыпная плотность, г/дм ³	Влагоемкость, мас. %	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Eh, mV
ТВ2-Н	0,45...2,0	300...350	100	9,2	7,4	114
Випон-2	0,45...2,0	400...500	180	8,8	7,1	176
Почва	2,0...2,5	300...400	42,7	6,4	6,1	200

Table 2

Growing medium characteristics

Growing medium	Indicator					
	Particle size, mm	Bulk density, g/dm ³	Moisture capacity, %	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Eh, mV
TV2-N thermovermiculite	0.45...2.0	300...350	100	9.2	7.4	114
Vipon-2 thermovermiculite	0.45...2.0	400...500	180	8.8	7.1	176
Soil	2.0...2.5	300...400	42.7	6.4	6.1	200

Садовая земля (далее по тексту почва) — почвосмесь, приготовленная из дерновой, перегнойно-навозной, компостной, торфяной, листовой, огородной и хвойной земель, а также крупнозернистого речного песка, взятых в соотношениях

1:1:1:1:1:0.3:0.5 (по объему), и небольшого количества древесного угля. Этот состав рекомендуется использовать в тепличных и оранжерейных хозяйствах, а также в парниках и теплицах для таких задач, как посев семян, укоренение черенков, выращивание рассады и зеленых культур, а также культивирование различных цветочных, декоративных и овощных растений [21].

Эксперименты проводили весной 2022 г. на базе Полярной опытной станции филиала Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) и Кольского научного центра Российской академии наук (ФИЦ КНЦ РАН).

Проведено пять лабораторных опытов (по количеству видов овощных культур) длительностью 10 дней каждый. Схема каждого эксперимента включала выращивание культуры на трех вариантах субстратов (табл. 3), выполненное в пяти повторностях.

Таблица 3

Схема опытов

№ опыта	Культура	№ варианта	Субстрат	Количество повторностей <i>n</i>
1	Свекла столовая	1	ТВ2-Н	5
		2	Випон-2	5
		3	Почва	5
2	Капуста белокочанная	1	ТВ2-Н	5
		2	Випон-2	5
		3	Почва	5
3	Капуста цветная	1	ТВ2-Н	5
		2	Випон-2	5
		3	Почва	5
4	Капуста пекинская	1	ТВ2-Н	5
		2	Випон-2	5
		3	Почва	5
5	Салат кочанный	1	ТВ2-Н	5
		2	Випон-2	5
		3	Почва	5

Table 3

Experimental design

Experiment	Crop	Variant	Growing medium	Number of replications <i>n</i>
1	Beetroot	1	TV2-H	5
		2	Vipon-2	5
		3	Soil	5

End of the table 3

Experiment	Crop	Variant	Growing medium	Number of replications <i>n</i>
2	Cabbage	1	TV2-H	5
		2	Vipon-2	5
		3	Soil	5
3	Cauliflower	1	TV2-H	5
		2	Vipon-2	5
		3	Soil	5
4	Chinese cabbage	1	TV2-H	5
		2	Vipon-2	5
		3	Soil	5
5	Lettuce	1	TV2-H	5
		2	Vipon-2	5
		3	Soil	5

Субстрат объемом 250 мл помещали в пластиковые контейнеры размером 10×10×6 см и увлажняли 125 мл воды. Затем проводили прямой посев семян в субстрат с их заделкой на глубину 0,5 см и последующим орошением водой в количестве 50 мл. Посевы закрывали пленкой для сохранения влажности. После появления первых всходов пленку удаляли.

Перед посевом определяли всхожесть семян согласно ГОСТ 12038–84 с использованием фильтровальной бумаги [22] (см. табл. 1). Полученный результат учитывали при расчете нормы высева семян. Таким образом, количество высевных семян на одну емкость составило: для свеклы столовой — 114, капусты белокочанной — 143, капусты цветной — 161, капусты пекинской — 100, салата кочанного — 125 шт.

В экспериментах проводили наблюдения за динамикой прорастания семян каждой из культур, фиксируя появление первых и массовых всходов. К непроросшим относили набухшие, но не развившиеся, а также проросшие семена с недоразвившимися зелеными семядолями. Учет проросших семян осуществляли ежедневно, вплоть до прекращения появления новых проростков. Всходы считали массовыми при достижении 50%-го уровня прорастания семян в повторностях [23, 24].

Оценку качественных показателей проростков проводили на пятые сутки эксперимента. В каждой повторности всех пяти опытов учитывали по 10 растений (всего 50 растений по всем повторностям для каждой культуры), измеряли их высоту, см, длину корней, см, и вес зеленой биомассы, г. Итоговые результаты приведены в процентах от показателей в контроле, за 100 % приняты данные, полученные в контрольном варианте.

Интенсивность освещения в помещениях составляла в пасмурные дни 6, в солнечные — 20 кЛк, температура воздуха не превышала 25...26 °С, влажность

воздуха — 60 %. Для искусственного досвечивания посевов использовали белые светодиодные лампы марки ЗНР2 3800–4300 К.

Для обработки полученных данных применяли методы описательной статистики, однофакторного дисперсионного и корреляционного анализов в программах Microsoft Excel и Statistica 8. Достоверность различий между вариантами принималась при значениях $p < 0,05$ ($n = 50$). При $p > 0,05$ различия по вариантам считались недостоверными. Коэффициент вариации V рассчитывался по формуле

$$V = \frac{\sigma}{\mu} 100 \%,$$

где σ — стандартное отклонение; μ — среднее значение. При V , %, меньше 10 степень рассеивания данных считается незначительной, если $10 < V < 20$ — средней и при $20 < V < 33$ — значительной.

Результаты исследования и обсуждение

Влияние субстратов на прорастание семян

Появление первых всходов. Вермикулитовые субстраты оказали положительное статистически значимое влияние на появление первых всходов у четырех овощных культур (свекла столовая, капуста белокочанная, капуста цветная, капуста пекинская) (табл. 4, опыты 1–4). В опыте со свеклой столовой наилучшие результаты отмечены в варианте с использованием термовермикулитов в качестве субстрата для прорастания, где первые всходы появились на два дня раньше, чем в контроле. В опытах с тремя видами капусты эта разница составила 1 день. На появление первых всходов семян салата кочанного вермикулитовые субстраты не оказали существенного влияния, результаты были одинаковые как в опытных, так и в контрольном вариантах — всходы появились одновременно во всех вариантах на вторые сутки от посева семян (табл. 4).

Таблица 4

Динамика появления всходов овощных культур

Культура	Субстрат	Количество всходов, шт.					НСР ₀₅ **
		1 сутки	2 сутки	3 сутки	4 сутки	5 сутки	
Свекла столовая	ТВ2-Н	33,4±1,1*	40,4±1,1	58,3±1,4	68,5±1,5	72,2±1,9	3,8
	Випон-2	36,6±0,7	48,6±0,8	63,4±1,2	81,4±1,5	87,2±2,5	2,5
	Почва	0	0	8,6±0,2	11,3±1,0	19,4±0,6	0,6
Капуста белокочанная	ТВ2-Н	0	27,6±1,5	66,3±0,7	70,1±0,8	76,0±4,0	4,0
	Випон-2	0	47,6±2,9	79,2±0,8	90,3±0,6	94,6±2,1	2,1
	Почва	0	0	11,2±0,4	20,2±0,6	27,6±0,6	0,6

Окончание табл. 4

Культура	Субстрат	Количество всходов, шт.					НСР ₀₅ **
		1 сутки	2 сутки	3 сутки	4 сутки	5 сутки	
Капуста цветная	ТВ2-Н	0	14,8±1,0	64,2±0,6	88,6±1,2	94,6±2,1	4,1
	Випон-2	0	19,4±0,7	70,2±0,8	93,4±1,6	104,4±2,6	5,1
	Почва	0	0	9,8±0,4	45,2±0,9	56,0±0,4	0,8
Капуста пекинская	ТВ2-Н	0	30,8±0,6	72,3±0,9	86,7±0,6	95,6±0,3	0,6
	Випон-2	0	27,6±0,9	65,1±0,6	77,3±0,6	82,0±0,2	0,5
	Почва	0	0	18,2±1,2	54,3±0,4	68,8±0,4	0,7
Салат кочанный	ТВ2-Н	0	67,0±1,2	89,0±1,0	98,0±0,5	107,8±0,6	1,2
	Випон-2	0	59,2±0,9	79,4±0,9	84,1±0,7	90,8±0,8	1,6
	Почва	0	52,8±1,0	67,3±0,9	70,2±0,9	74,4±0,9	1,7

Примечание. * – стандартная ошибка; ** – НСР₀₅ на пятые сутки экспериментов.

Table 4

Dynamics of emergence of vegetable crops

Crop	Growing medium	Number of seedlings					LSD ₀₅ **
		1 day	2 days	3 days	4 days	5 days	
Beetroot	TV2-Н	33.4±1.1*	40.4±1.1	58.3±1.4	68.5±1.5	72.2±1.9	3.8
	Vipon-2	36.6±0.7	48.6±0.8	63.4±1.2	81.4±1.5	87.2±2.5	2.5
	Soil (c)	0	0	8.6±0.2	11.3±1.0	19.4±0.6	0.6
Cabbage	TV2-Н	0	27.6±1.5	66.3±0.7	70.1±0.8	76.0±4.0	4.0
	Vipon-2	0	47.6±2.9	79.2±0.8	90.3±0.6	94.6±2.1	2.1
	Soil (c)	0	0	11.2±0.4	20.2±0.6	27.6±0.6	0.6
Cauliflower	TV2-Н	0	14.8±1.0	64.2±0.6	88.6±1.2	94.6±2.1	4.1
	Vipon-2	0	19.4±0.7	70.2±0.8	93.4±1.6	104.4±2.6	5.1
	Soil (c)	0	0	9.8±0.4	45.2±0.9	56.0±0.4	0.8
Chinese cabbage	TV2-Н	0	30.8±0.6	72.3±0.9	86.7±0.6	95.6±0.3	0.6
	Vipon-2	0	27.6±0.9	65.1±0.6	77.3±0.6	82.0±0.2	0.5
	Soil (c)	0	0	18.2±1.2	54.3±0.4	68.8±0.4	0.7
Lettuce	TV2-Н	0	67.0±1.2	89.0±1.0	98.0±0.5	107.8±0.6	1.2
	Vipon-2	0	59.2±0.9	79.4±0.9	84.1±0.7	90.8±0.8	1.6
	Soil (c)	0	52.8±1.0	67.3±0.9	70.2±0.9	74.4±0.9	1.7

Note. * – standard error; ** – LSD₀₅ on the fifth day of experiments.

Появление массовых всходов. Вермикулитовые субстраты оказали также положительное статистически значимое влияние на появление массовых всходов у тех же четырех овощных культур (свекла столовая, капуста белокочанная, капуста цветная, капуста пекинская). Они были зафиксированы на третьи сутки после посева семян. В опыте с салатом кочанным массовые всходы зафиксированы одновременно во всех трех вариантах, разница между ними была статистически незначимой. В контрольных вариантах опыта со свеклой столовой и капустой белокочанной количество проросших семян составляло менее 50 %, тогда как в опыте с капустой цветной этот максимум был зафиксирован только на пятые сутки от посева семян, т. е. на два дня позже, чем в вариантах с использованием вермикулитовых субстратов. В опыте с капустой пекинской всхожесть на уровне 50 % отмечена в вариантах с вермикулитовыми субстратами на одни сутки раньше, чем в контроле, и это различие было статистически значимо.

Расчет итоговой всхожести семян (общего количества взошедших семян) каждой из пяти овощных культур в проведенных экспериментах с достоверностью 95 % показал, что в вариантах с вермикулитовыми субстратами этот показатель был выше, чем в контроле с почвой (см. табл. 4).

Всхожесть семян была выше в варианте 2 (Випон-2), по сравнению с вариантом 1 (ТВ2-Н) и 3 (почва): в опыте 1 (свекла столовая) — на 15 и 68 %, опыте 2 (капуста белокочанная) — на 19 и 67 % и в опыте 3 (капуста цветная) — на 10 и 48 % соответственно. Более того, в опыте 3 всхожесть семян в варианте с использованием Випона-2 оказалась выше на 4 % относительно предпосевного определения данного показателя. В опытах № 4 и 5 (капуста пекинская и салат кочанный) лучшие результаты получены в варианте 1 с применением вермикулита ТВ2-Н, а разница с вариантом 2 и контролем составила 14/17 и 27/33 % соответственно, причем в варианте 1 (вермикулит ТВ2-Н) опыта 5 взошло на 8 % больше семян, чем при предпосевном определении всхожести с использованием фильтровальной бумаги.

Дисперсионный анализ итоговых данных о количестве взошедших семян подтвердил благоприятное воздействие влагоемких воздухопроницаемых вермикулитовых субстратов на всхожесть семян всех пяти овощных культур. Коэффициент вариации V был менее 19 % во всех вариантах опытов.

Влияние субстратов на биометрические показатели проростков

Высота проростков. В опытах со всеми пятью видами растений, высота проростков в вариантах с вермикулитовыми субстратами была выше, чем в контроле, %: в опыте 1 на 28 и 30, опыте 2 — на 11 и 2, опыте 3 — на 8 и 5, опыте 4 — на 28 и 18 и опыте 5 — на 11 и 11 для вариантов 1 и 2 соответственно (рис. 3). Статистически достоверные различия между опытными и контрольным вариантами были выявлены только в опытах 1, 4 и 5, в то время как в опыте 2 отличия являлись достоверными только между вариантом 1 и контролем, а в опыте 3 все отличия были недостоверными. Коэффициент вариации V составил величину менее 8,5 %.

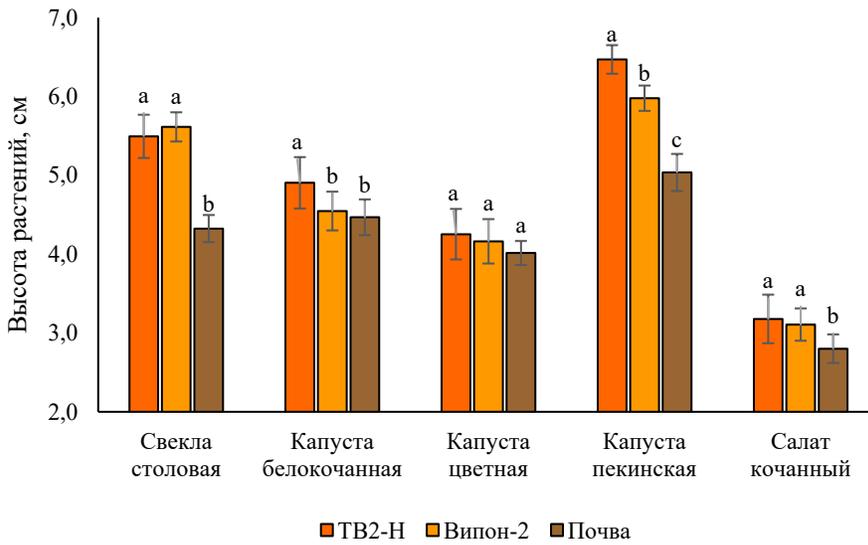


Рис. 3. Высота сеянцев овощных растений при выращивании в вермикулитовых субстратах и почве. Различные буквы над столбцами указывают статистически значимое различие между вариантами субстратов

Источник: выполнила М.А. Ярцева с помощью Microsoft Excel

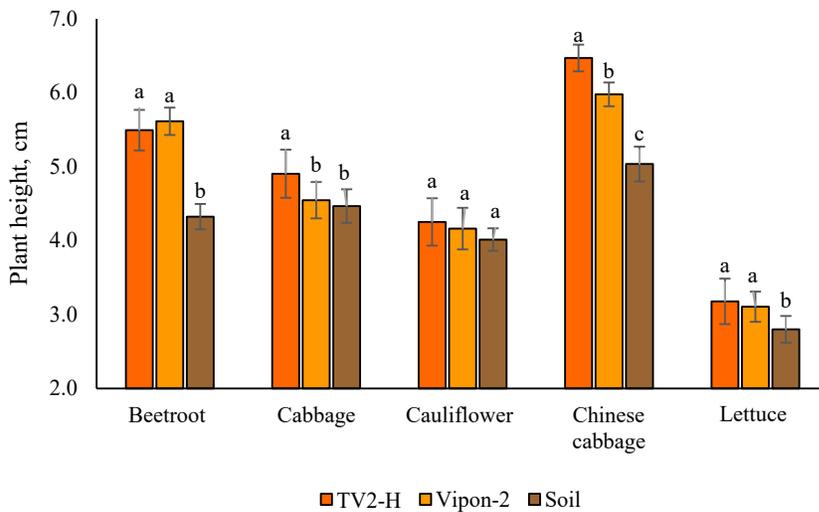


Fig. 3. Height of vegetable seedlings in vermiculite substrates and soil. Different lowercase letters indicate statistically significant differences between the variants of growing media

Source: created by Maria A. Yartseva using Microsoft Excel

Длина корней. Показатель длины корней проростков оказался более чувствительным к влиянию субстратов по сравнению с высотой проростков (рис. 4). Корни ювенильных растений были достоверно длиннее в опытных вариантах, чем в контроле, %: в опыте 1 — на 275 и 195, опыте 2 — на 217 и 170, опыте 3 — на 183 и 146,

опыте 4 — на 204 и 73, опыте 5 — на 49 и 39 для вариантов 1 и 2 соответственно. При этом следует подчеркнуть, что этот биометрический показатель в вариантах с применением вермикулита ТВ2-Н во всех пяти опытах был выше по сравнению с вариантами с Випоном-2 на 80, 47, 37, 131 и 10 % соответственно. Такую разницу в длине корней проростков между опытными вариантами можно объяснить меньшей насыпной плотностью термовермикулита ТВ2-Н.

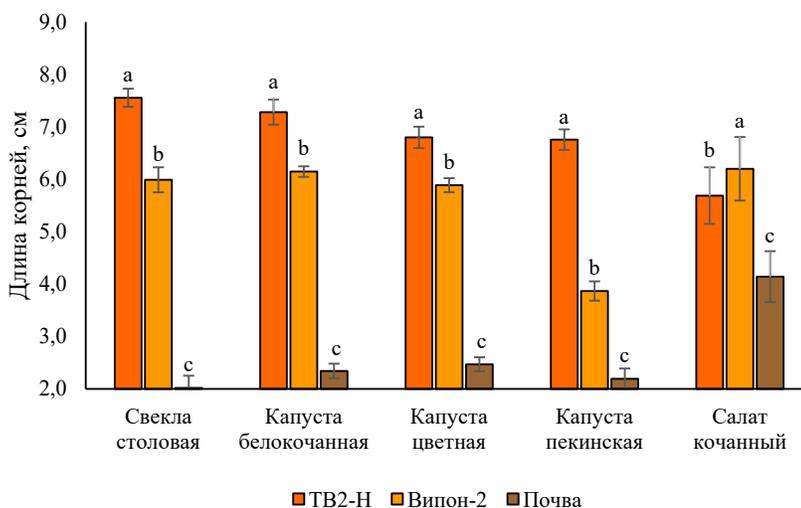


Рис. 4. Длина корней сеянцев овощных растений при выращивании в вермикулитовых субстратах и почве
Источник: выполнила М.А. Ярцева с помощью Microsoft Excel

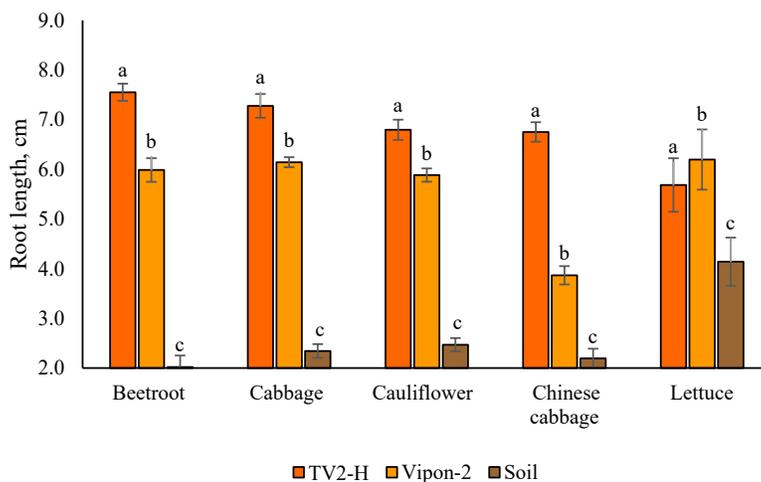


Fig. 4. Root length of vegetable seedlings after growing in vermiculite substrates and soil
Source: created by Maria A. Yartseva using Microsoft Excel

Установлена положительная линейная корреляционная связь между длиной корней и высотой сеянцев всех культур ($r = 0,6$). Это позволило сделать вывод о том, что искусственные вермикулитовые субстраты-почвозаменители способны создавать более благоприятные, по сравнению с почвой, условия для роста и развития корневой системы проростков изучаемых видов овощных культур, что способствует лучшему росту надземной части сеянцев. Коэффициент вариации V составил менее 14,2 %.

Накопление биомассы. Достоверные отличия в накоплении проростками овощных растений зеленой биомассы были отмечены только в опыте со свеклой столовой (рис. 5). В варианте 1 она на 100 %, а в варианте 2 всего на 8 % оказалась больше, чем в варианте 3 (контроль), при этом биомасса растений в варианте с применением вермикулитового субстрата ТВ2-Н была выше в два раза по сравнению с вариантом с использованием Випона и почвы. В остальных четырех опытах разница в массе сеянцев была несущественной. Коэффициент вариации V составил менее 17,3 %.

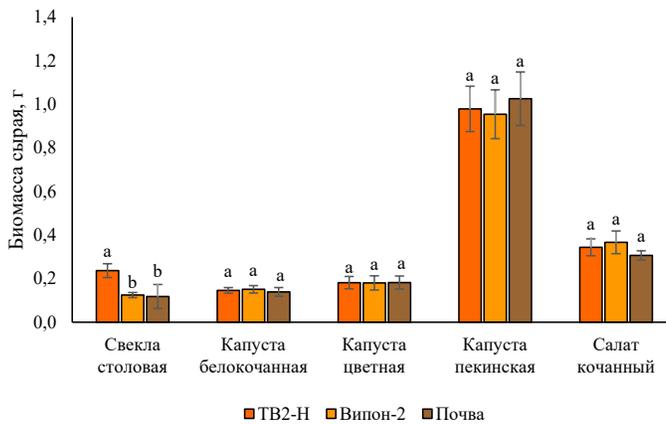


Рис. 5. Сырая биомасса проростков овощных растений при выращивании в вермикулитовых субстратах и почве
 Источник: выполнила М.А. Ярцева с помощью Microsoft Excel

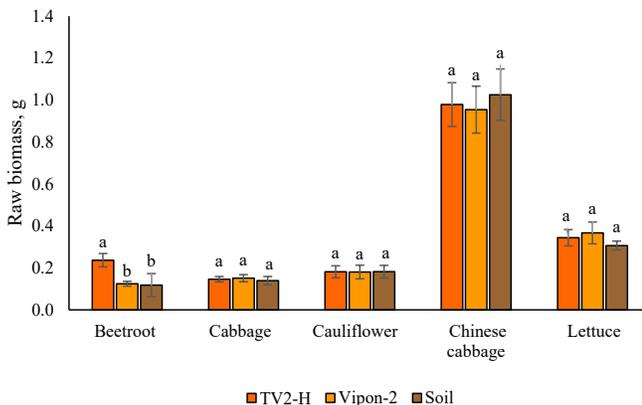


Fig. 5. Fresh weight of vegetable seedlings after growing in vermiculite substrates and soil
 Source: created by Maria A. Yartseva using Microsoft Excel

Заключение

Результаты лабораторных экспериментов по проращиванию пяти перспективных для выращивания в Кольской Субарктике овощных культур (свеклы столовой, капусты белокочанной, капуста цветной, капуста пекинской и салата кочанного) показали статистически значимое влияние вермикулитовых субстратов (термовермикулита марки ТВ2-Н, термовермикулита Випон-2) на прорастание семян и биометрические параметры сеянцев.

Вермикулитовые субстраты способствовали более интенсивному, по сравнению с почвой, прорастанию семян, росту надземной части и корней сеянцев. Достоверные отличия в накоплении проростками овощных растений зеленой биомассы были отмечены только в опыте со свеклой столовой, тогда как у других четырех видов разница в массе сеянцев была несущественной.

Корреляционный анализ показал, что термовермикулит маркировки ТВ2-Н, благодаря его меньшей, по сравнению с другим почвозаменителем (Випон-2), насыпной плотности, способен создавать более благоприятные условия для роста корневой системы проростков изучаемых видов овощных культур и тем самым оказывает более существенное влияние на рост надземной части сеянцев и качественные показатели проростков, в связи с чем может быть рекомендован для применения в растениеводстве при проращивании семян овощных культур.

Библиографический список

1. *Чепик Ф.А.* Этапы онтогенеза древесных растений и их использование в диагностических целях // Материалы 3-го международного совещания «Сохранение лесных генетических ресурсов Сибири», Красноярск, Россия / Учреждение Российской академии наук Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. 2011. С. 147.
2. *Науменко Н.В., Потороко И.Ю., Науменко Е.Е.* Применение шкалы микрофенологических фаз для процесса контролируемого проращивания зерна пшеницы // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2021. Т. 9. № 2. С. 47–56. doi: 10.14529/food210205
3. *Гэлстон А., Девис П., Сэттер Р.* Жизнь зеленого растения: пер. с англ. / ред. Н.П. Воскресенская. М.: Мир, 1983. 552 с.
4. *Филиппова Г.В., Андросова Д.Н., Филиппов Э.В., Прокопьев И.А.* Влияние температуры и осадков на морфологию, прорастание и стрессоустойчивость семян некоторых представителей флоры Севера // Экология. 2019. № 6. С. 410–418. doi: 10.1134/S0367059719050044
5. *Бисенова Г.Н., Сармурзина З.С., Ракишев К.Б., Закарья К.Д., Ракишева А.К.* Разработка биосубстрата как стимулятора роста для выращивания органических видов сельскохозяйственных культур // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. 2022. № 4 (141). С. 37–44. doi: 10.32523/2616-7034-2022-141-4-37-44
6. *Борисова Н.Н., Седенко Д.М., Овчаров К.Е.* Превращение веществ в семенах кукурузы, проращиваемых при различных температурах // Биологические основы повышения качества семян сельскохозяйственных растений. М.: Наука, 1964. С. 87.
7. *Вендло Г., Солдатова С., Аврамова Т.* Субстраты для выращивания овощей без почвы // Картофель и овощи. 1965. № 10. С. 26.
8. *Болотников Д.П.* Вермикулит. Мурманск: Кн. изд-во, 1964. 50 с.
9. *Львова И.А., Дьяконов Ю.С.* Минералогические особенности вермикулитового месторождения СССР как критерий их качества // Исследование и применение вермикулита. Л.: Наука, 1969. С. 53–54.
10. *Иванова Л.А.* Гидропонное выращивание декоративно-цветочных растений с использованием вермикулита ковдорского месторождения: препр. Апатиты, 1989. 16 с.

11. Иванова Л.А., Слуковская М.В., Кременецкая И.П., Горбачёва Т.Т. Пора озеленять Арктику. Инновационные газонные технологии для создания травяного покрова различного назначения в условиях Заполярья. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2020. 37 с.
12. Иванова Л.А. Технология выращивания альстромерии гибридной в Заполярье // Информ. листок Мурм. межотрасл. террит. ЦНТИ и пропаганды, 1996. № 152. 96 с.
13. Бухаров А.Ф., Балеев Д.Н., Бухарова А.Р. Кинетика прорастания семян. Методы исследования и параметры // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2017. № 2. С. 5–19.
14. Иванова Л.А., Котельников В.А. Перспективы гидропонного выращивания растений в условиях Мурманской области. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2006. 106 с.
15. Иванова Л.А. Ковдорский вермикулит — гидропонный субстрат для северного растениеводства (Кольский полуостров) // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: тез. докл. Междунар. конференции, г. Архангельск. 2002. Т. 1. С. 166–168.
16. Иванова Л.А. Особенности ускоренного формирования высококачественных газонных фитоценозов в условиях Заполярья // Субтропическое и декоративное садоводство: сб. науч. тр. / ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии. 2013. № 49. С. 224–227.
17. Нижегородов А.И. Электрические модульно-спусковые печи с системой рекуперации энергии для обжига вермикулитовых концентратов // Новые огнеупоры. 2015. № 10. С. 22–27. doi: 10.17073/1683–4518–2015–10–22–27
18. Звездин А.В., Нижегородов А.И. Оценка энергоэффективности подвесной нагревательной системы электрической печи для тепловой обработки сыпучих материалов // Вестник ИрГТУ. 2019. Т. 23. № 1. С. 41–53.
19. Иванова Л.А., Котельников В.В., Быкова А.Е. Физико-химическая трансформация минерала вермикулита в субстрат для выращивания растений // Вестник МГТУ. 2006. Т. 9. № 5. С. 883–889.
20. Мосендз И.А., Кременецкая И.П. Оценка влияния способов термообработки вермикулита для применения его в качестве гидропонного субстрата // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2022. № 19. С. 248–252. doi: 10.31241/FNS.2022.19.045
21. Высочкина Л.И., Высочкина Т.Н. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур за счет накопления влаги в почве // Технические науки — от теории к практике. 2014. № 38. С. 93–99.
22. Сотченко В.С., Горбачева А.Г., Ветошкина И.А., Соломко В.И. Методика определения лабораторной всхожести и силы роста семян // Кукуруза и сорго. 2021. № 1. С. 12–24. doi: 10.25715/08981–6773–2383-a
23. Веллингтон П. Методика оценки проростков семян / под ред. Н.Г. Хорошайлова. М.: Колос, 1973. 175 с.
24. Алексейчук Г.Н., Ламан Н.А. Физиологическое качество семян сельскохозяйственных культур и методы его оценки. Мн.: Право и экономика, 2005. 48 с.

References

1. Chepik FA. Stages of ontogenesis of woody plants and their use for diagnostic purposes. In: *Conservation of forest genetic resources of Siberia: conference proceedings*. Krasnoyarsk; 2011. p.147. (In Russ.).
2. Naumenko NV, Potoroko IY, Naumenko EE. Application of the microphenological phase scale for the process of controlled germination of wheat grain. *Bulletin of the South Ural state university*. 2021;9(2):47–56. (In Russ.). doi: 10.14529/food210205
3. Galston A, Davies P, Satter R. *Zhizn' zelenogo rasteniya* [The life of the green plant]. Moscow: Mir publ.; 1983.
4. Filippova GV, Androsova DN, Filippov EV, Prokopyev IA. Influence of temperature and precipitation on the morphology, growth, and stress resistance of seeds of some representatives of Northern flora. *Russian Journal of Ecology*. 2019;(6):410–418. (In Russ.). doi: 10.1134/S0367059719050044
5. Bisenova GN, Sarmurzina ZS, Rakishev KB, Zakarya KD, Rakisheva AK. Development of a biosubstrate as a growth stimulator for growing organic types of agricultural crops. *Bulletin of L.N. Gumilyov ENU. Bioscience Series*. 2022;(4):37–44. (In Russ.). doi: 10.32523/2616–7034–2022–141–4–37–44
6. Borisova NN, Sedenko DM, Ovcharov KE. Transformation of substances in corn seeds germinated at different temperatures. In: *Biological basis for improving the quality of seeds of agricultural plants: conference proceedings*. Moscow; 1964. p.87. (In Russ.).
7. Vendilo G, Soldatova S, Avramova T. Substrates for growing vegetables without soil. *Potato and vegetables*. 1965;(10):26. (In Russ.).
8. Bolotnikov DP. *Vermikulit* [Vermiculite]. Murmansk; 1964. (In Russ.).

9. Lvova IA, Dyakonov YS. Mineralogical features of vermiculite deposits in the USSR as a criterion of their quality. In: *Research and application of vermiculite*. Leningrad: Nauka publ.; 1969. p.53–54. (In Russ.).
10. Ivanova LA. *Gidroponnoe vyrashchivanie dekorativno-tsvetochnykh rastenii s ispol'zovaniem vermiculita kovdorskogo mestorozhdeniya* [Hydroponic cultivation of ornamental plants using vermiculite from the Kovdor deposit]. Apatity; 1989. (In Russ.).
11. Ivanova LA, Slukovskaya MV, Kremenetskaya IP, Gorbacheva TT. *Pora ozelenyat' Arktiku. Innovatsionnye gazonnye tekhnologii dlya sozdaniya travyanogo pokrova razlichnogo naznacheniya v usloviyakh Zapolyar'ya* [It's time to green the Arctic. Innovative lawn technologies for creating grass for various purposes in the Arctic]. Apatity; 2020. (In Russ.).
12. Ivanova LA. Technology for growing hybrid alstroemeria in the Arctic. *Information leaflet: Murmansk intersectoral territorial center for social and information work and propaganda*. 1996;(152):96. (In Russ.).
13. Bukharov AF, Baleev DN, Bukharova AR. Kinetics of seed germination. Research methods and parameters. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2017;(2):5–19. (In Russ.).
14. Ivanova LA, Kotelnikov VA. *Perspektivy gidroponnogo vyrashchivaniya rastenii v usloviyakh Murmanskoi oblasti* [Prospects for hydroponic growing of plants in the conditions of the Murmansk region]. Apatity; 2006. (In Russ.).
15. Ivanova LA. Kovdor vermiculite — hydroponic substrate for northern crop production (Kola Peninsula). In: *Ecology of the northern territories of Russia. Problems, situation forecast, development paths, solutions: conference proceedings*. 2002. p.166–168. (In Russ.).
16. Ivanova LA. Features of rapid formation of lawn phytocenoses in Polar region. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2013;(49):224–227. (In Russ.).
17. Nizhegorodov AI. Electric modular firing furnaces with an energy recovery system for firing vermiculite concentrates. *New refractories*. 2015;(10):22–27. (In Russ.). doi: 10.17073/1683–4518–2015–10–22–27
18. Zvezdin AV, Nizhegorodov AI. Assessing energy efficiency of electric furnace suspended heating system for bulk material heat treatment. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2019;23(1):41–53. (In Russ.). doi: 10.21285/1814–3520–2019–1–41–53
19. Ivanova LA, Kotelnikov VV, Bykova AE. Physico-chemical transformation of the mineral vermiculite into a substrate for growing plants. *Vestnik MSTU*. 2006;9(5):883–889. (In Russ.).
20. Mosendz IA, Kremenetskaya IP. Evaluating the effect of vermiculite heat treatment methods for its application as a hydroponic substrate. Proceedings of the Fersman scientific session of the State Institute of Science and Technology of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2022;(19):248–252. (In Russ.). doi: 10.31241/FNS.2022.19.045
21. Vysochkina LI, Vysochkina TN. Increasing crop yields due to accumulation of moisture in the soil. *Tekhnicheskie nauki — ot teorii k praktike*. 2014;(38):93–99. (In Russ.).
22. Sotchenko VS, Gorbacheva AG, Vetoshkina IA, Solomko VI. Methodology for determining laboratory germination and seed vigor. *Kukuruza i sorgo*. 2021;(1):12–24. (In Russ.). doi: 10.25715/o8981–6773–2383–a
23. Wellington P. *Metodika otsenki prorstkov semyan* [Methodology for assessing seed sprouts]. Moscow: Kolos publ.; 1973. (In Russ.).
24. Alekseychuk GN, Laman NA. *Fiziologicheskoe kachestvo semyan sel'skokhozyaistvennykh kul'tur i metody ego otsenki* [Physiological quality of agricultural seeds and methods for its assessment]. Minsk; 2005. (In Russ.).

Об авторах:

Ярцева Мария Александровна — аспирант, ведущий инженер, лаборатория интродукции и акклиматизации растений, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина — обособленное подразделение федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр» Российской академии наук, Российская Федерация, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18 а; e-mail: 468975@mail.ru
ORCID: 0000–0001–7560–6339 SPIN-код: 9820–0196

Кременецкая Ирина Петровна — старший научный сотрудник, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева — обособленное подразделение федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр» Российской академии наук, 184209, г. Апатиты, ул. Академгородок, д. 26 а; e-mail: i.kremenetskaia@ksc.ru

ORCID: 0000–0003–3531–8273 SPIN-код: 7227–0180

Иванова Любовь Андреевна — главный научный сотрудник, лаборатория декоративного цветоводства и озеленения, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук»; ведущий научный сотрудник, Институт проблем промышленной экологии Севера Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», г. Апатиты, Российская Федерация, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18 а; e-mail: ivanova_la@inbox.ru

ORCID: 0000–0002–7994–5431 SPIN-код: 5752–3648

Слуковская Марина Вячеславовна — старший научный сотрудник, лаборатория природоподобных технологий и техносферной безопасности Арктики, ФИЦ Кольский научный центр РАН, Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14; Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева — обособленное подразделение федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр» Российской академии наук, 184209, г. Апатиты, ул. Академгородок, д. 26 а; e-mail: m.slukovskaya@ksc.ru

ORCID: 0000–0002–5406–5569 SPIN-код: 8540–8055

About authors:

Yartseva Maria Aleksandrovna — PhD student, leading engineer, Laboratory of introduction and acclimatization of plants, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute — Subdivision of the Federal Research Centre, Kola Science Centre of Russian Academy of Sciences, 18a Akademgorodok microdistrict, Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; e-mail: 468975@mail.ru

ORCID: 0000–0001–7560–6339 SPIN-code: 9820–0196

Kremenetskaya Irina Petrovna — Senior Researcher, Tananaev Institute of Chemistry — Subdivision of the Federal Research Centre, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 26a Akademgorodok st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; e-mail: i.kremenetskaia@ksc.ru

ORCID: 0000–0003–3531–8273 SPIN-code: 7227–0180

Ivanova Lubov Andreevna — Chief Researcher, Laboratory of Decorative Floriculture and Landscaping, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute — Subdivision of the Federal Research Centre, Kola Science Centre of Russian Academy of Sciences; Leading Researcher, Institute for Problems of Industrial Ecology of the North, Federal Research Center, Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, 18a Akademgorodok microdistrict, Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; e-mail: ivanova_la@inbox.ru

ORCID: 0000–0002–7994–5431 SPIN-code: 5752–3648

Slukovskaya Marina Vyacheslavovna — Senior Researcher, Laboratory of Nature-Inspired Technologies and Environmental Safety of the Arctic region, Federal Research Centre, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 14 Fersmana st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; Tananaev Institute of Chemistry — Subdivision of the Federal Research Centre, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 26a Akademgorodok st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; e-mail: m.slukovskaya@ksc.ru

ORCID: 0000–0002–5406–5569 SPIN-code: 8540–8055



Агротехнологии и мелиорация земель Agricultural technologies and land reclamation

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-269-280

EDN: JFCKPS

УДК 551.58:631.459.2

Научная статья / Research article

Динамика основных климатических показателей и их влияние на характер эрозионных процессов в условиях центральной части Ростовской области

Д.П. Сидаренко 

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, г. Новочеркасск,
Российская Федерация
✉ sidarenko1@mail.ru

Аннотация. Цель исследования — изучение воздействия климатических факторов на формирование стока талых вод, а также установление изменений его показателей с пашни различной степени уплотненности в центральной части Ростовской области. Используются многолетние климатические показатели, а также современные данные по погодным условиям холодного периода года, величины по интенсивности проявления эрозионных процессов, формирующихся при таянии снега. Выявлена тесная математическая зависимость между величиной стока и запасами воды в снеге. Показатели холодного периода 1981–2020 гг. оказались намного выше, чем в 1881–1980 гг. Наибольшее расхождение отмечено в средней температуре, так в 40-летнем периоде этот показатель составил 1,5 °С, а за 100-летний период — всего лишь –0,1 °С. Температура увеличивалась в период декабрь-февраль с –4,4 до –2,3 °С. На фоне этого количество осадков росло в целом за период октябрь-март, за период декабрь-февраль до 169 мм и 134 мм за 100-летний период. Установлено значительное снижение показателей стока за период 2001–2020 гг. Так величина стока талых вод с рыхлой пашни за период 1981–2000 гг. с 6,1 мм уменьшилась до 2,8 мм за период 2001–2020 гг., существенно сократились и значения запасов воды в снеге. Анализ изменения основных климатических показателей выявил значительное увеличение температуры воздуха холодного

© Сидаренко Д.П., 2024



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

периода и количества осадков за последние 40 лет, при этом — уменьшение запасов воды в снеге — одной из основных составляющих величины формирующегося от талых вод стока, и как следствие, существенное его сокращение. Это в значительной степени может быть результатом как потепления климата на изучаемой территории, так и благоприятного влияния комплекса противоэрозионных мероприятий, заложенных в 1970-х гг.

Ключевые слова: климат, метеоданные, холодный период, сток талых вод, осадки, снег

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

Благодарность. Автор выражает благодарность доктору сельскохозяйственных наук, профессору Е.В. Полуэктову за общее руководство ходом выполнения научного исследования, подготовки кандидатской диссертации и предоставление многолетних данных по стоку талых вод с пашни различной степени уплотненности, проведенные консультации и советы.

История статьи: поступила в редакцию 4 апреля 2022 г., принята к публикации 9 января 2024 г.

Для цитирования: Сидаренко Д.П. Динамика основных климатических показателей и их влияние на характер эрозионных процессов в условиях центральной части Ростовской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 269—280. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-269-280

Dynamics of main climatic indicators and their influence on erosion processes in central part of Rostov region

Dmitry P. Sidarenko 

Russian Research Institute of Problems of Land Reclamation, *Novocherkassk, Russian Federation*
✉ sidarenko1@mail.ru

Abstract. The purpose of the research was to study the impact of climatic factors on formation of meltwater runoff, and to establish changes in its indicators from arable land of varying degrees of compaction in the central part of the Rostov region. In the research, both long-term climatic data and current data on the weather conditions of the cold period of the year, intensity of erosion processes formed during snowmelt were used. A close mathematical relationship between the amount of runoff and water content in snow was revealed. Analysis of climatic data showed that the indicators of the cold period 1981–2020 were much higher than the similar indicators of 1881–1980. The greatest divergence was observed in the average temperature, so in the 40-year period this indicator was 1.5 °C, and the same indicator for the 100-year period was only –0.1 °C. There is an increase in temperature in December-February period from –4.4 to –2.3 °C. Alongside with that, there was also an increase in precipitation for October-March period and an increase in precipitation for December-February period to 169 mm and 134, respectively, over a 100-year period. The analysis revealed a significant decrease in runoff indicators in the following twenty years. Thus, the amount of meltwater runoff from loose arable land decreased from 6.1 mm to 2.8 mm in 1981–2000, the values of water content in snow also significantly decreased in 2001–2020. The analysis of changes in the main climatic indicators revealed a significant increase in the air temperature of the cold period and increase in precipitation over the past 40 years. Meanwhile, there was a decrease in water content in snow, which resulted in significantly reduced amount of runoff formed from meltwater. This can largely be the result of both warming of climate in the studied area and favorable influence of anti-erosion measures carried out in the 1970s.

Key words: climate, climatic data, cold period, meltwater runoff, precipitation, snow

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

Acknowledgements. The author expresses gratitude to Doctor of Agricultural Sciences, Professor E.V. Poluektov for general supervision of the scientific research, preparation of the dissertation and provision of long-term data on meltwater runoff from arable land of varying degrees of compaction, consultations and advice.

Article history: Received: 4 April 2022. Accepted: 9 January 2024.

For citation: Sidarenko DP. Dynamics of main climatic indicators and their influence on erosion processes in central part of Rostov region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):269—280. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-269-280

Введение

Ростовская область находится в южной части Восточно-Европейской равнины и частично в Северо-Кавказском регионе, занимая обширную территорию в речном бассейне Нижнего Дона. По характеру поверхности территория области представляет собой равнину, расчлененную долинами рек и балками. Максимальная высота над уровнем моря — 253 м. С севера на территорию области заходит Среднерусская возвышенность, на западе вклинивается восточная часть Донецкого кряжа, в юго-восточной части области возвышаются Сальско-Маньчская гряда и Ергени. Область имеет благоприятный умеренно-континентальный климат, смягченный близостью Азовского и Черного морей. Средняя температура воздуха: -7°C в январе, $+23^{\circ}\text{C}$ в июле. Продолжительность солнечного сияния равна 2050...2150 часам в год. С июня по сентябрь среднемесячные показатели продолжительности солнечного сияния в Ростове-на-Дону и Сочи мало отличаются друг от друга. Среднегодовое количество осадков составляет 424 мм. Выпадают преимущественно на атмосферных фронтах циклонов. Их количество уменьшается в направлении с запада (650 мм) на восток (до 400 мм) [1]¹.

Как отмечает ряд исследователей [2–8], в последние два десятилетия в Ростовской области наметились определенные подвижки в изменении климата, связанные в первую очередь с усилением его континентальности.

Согласно данным [9], среднегодовая температура воздуха по Ростовской области за период 2016–2020 гг. была выше нормы и составляла от 10,1 до 11,1 $^{\circ}\text{C}$. Наиболее теплым был 2020 г., который характеризовался преобладанием теплой погоды и дефицитом осадков, за исключением февраля с обильными осадками и относительно холодных по температурному режиму апреля, мая и декабря.

Годовое количество осадков на территории Ростовской области за период 2016–2020 гг. составляло от 391 до 594 мм. Наименьшее количество осадков в среднем по области выпало в 2020 г. (391 мм — 77 % нормы), наибольшее — в 2016 г. (594 мм — 117 % нормы). Близкие к норме осадки выпали в 2017 и 2018 гг.

Как отмечает Е.В. Полуэктов, одна из особенностей поверхностного стока в холодный период года на юге Европейской территории России — климат, харак-

¹ Географическое положение // Официальный портал Правительства Ростовской области. Режим доступа: <https://www.donland.ru/activity/146/> Дата обращения: 03.01.2021.

теризующийся мягкими по температурному режиму зимами, неустойчивостью снежного покрова, который может за зимние месяцы несколько раз формироваться и таять, и выпадением жидких осадков [10].

Среди климатических факторов, способствующих формированию стока талых вод, основными являются мощность и распределение снежного покрова, промерзание и оттаивание почвы, температура воздуха. Интенсивность и продолжительность снеготаяния незначительно сказываются на величине стока, большее значение приобретает водонасыщенность перед снеготаянием [5].

Изменения основных климатических показателей — увеличение температуры и количества выпадающих осадков — отражаются на величине стока талых вод — основной составляющей в развитии эрозионных процессов.

Цель исследования состояла в изучении воздействия климатических факторов на формирование стока талых вод, а также в установлении изменений показателей стока с пашни различной степени уплотненности в Центральной части Ростовской области.

Материалы и методы исследования

В исследованиях использованы многолетние климатические показатели по метеостанции г. Ростова-на-Дону (гидрометеорологическая обсерватория (ГМО)): за период 1881–1980 гг. взяты из справочника², за период 1981–2020 гг., а также температура воздуха и осадки по месяцам и годам (Ростов-на-Дону, Ростовская область, Россия) — по данным сайта «Погода и климат»³. Запасы воды в снеге, сток талых вод с рыхлой и уплотненной пашни за период 1981–2020 гг. определялись рядом ученых, в т. ч. и автором данного исследования [11–15]. Математическая обработка результатов полевых исследований осуществлялась общепринятыми статистическими методами.

Результаты исследования и обсуждение

Климатические данные с октября по март за период 1881–1980 гг. приведены в табл. 1. Согласно ГОСТ 30494–2011⁴ период года, характеризующийся среднесуточной температурой наружного воздуха, равной +10 °С и ниже, можно считать холодным периодом года.

Сравнительный анализ данных табл. 1 и 2 выявил, что показатели холодного периода 1981–2020 гг. намного выше, чем аналогичные показатели 1881–1980 гг. Наибольшее расхождение замечено в средней температуре, так в 40-летнем периоде его величина составила 1,5 °С, а за 100-летний — всего лишь –0,1 °С.

² Научно-прикладной справочник по климату СССР. Выпуск 13. Волгоградская, Ростовская, Астраханская области, Краснодарский, Ставропольский края, Калмыцкая, Кабардино-Балкарская, Чечено-Ингушская, Северо-Осетинская АССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 724 с.

³ Архив погоды // Погода и климат. Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php> Дата обращения: 03.01.2021.

⁴ ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Введ. в действие 12.07.2012. 11 с.

Отмечено повышение температуры в декабре — феврале с $-4,4$ до $-2,3$ °С, т.е. в 2 раза, что очень существенно, как известно, температура воздуха холодного периода оказывает значительное влияние на образование талого стока. В то же время отмечено увеличение количества осадков за 100-летний период: в целом за октябрь — март и декабрь — февраль до 169 и 134 мм соответственно.

Таблица 1

Климатические условия за октябрь — март 1881–1980 гг.
(данные метеостанции г. Ростов-на-Дону, ГМО)

Показатель	Месяц						Среднее	Сумма
	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март		
Средняя температура, °С	9,2	2,5	-2,6	-5,7	-4,8	0,6	-0,1	
Количество осадков, мм	43	48	56	40	38	37		262
Средняя температура за декабрь – февраль, °С							-4,4	
Сумма осадков за декабрь – февраль, мм								134

Table 1

Climatic conditions in October – March 1881–1980
(Data from the Rostov-on-Don weather station, HMO)

Indicator	Month						Average	Amount
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar		
Average temperature, °C	9.2	2.5	-2.6	-5.7	-4.8	0.6	-0.1	
Precipitation, mm	43	48	56	40	38	37		262
Dec – Feb average temperature, °C							-4.4	
Dec – Feb precipitation, mm								134

Аналогичные данные за период 1981–2020 гг. приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Климатические условия за октябрь – март 1981–2022 гг.
(данные метеостанции г. Ростов на Дону, ГМО)**

Показатель	Месяц						Среднее	Сумма
	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март		
Средняя температура, °С	10,1	3,1	-1,3	-2,9	-2,6	2,5	1,5	
Количество осадков, мм	42	49	61	59	49	47		307
Средняя температура за декабрь – февраль, °С							-2,3	
Сумма осадков за декабрь – февраль, мм								169

Table 2

**Climatic conditions in October – March 1981–2022
(Data from the Rostov-on-Don weather station, HMO)**

Indicator	Month						Average	Amount
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar		
Average temperature, °C	10.1	3.1	-1.3	-2.9	-2.6	2.5	1.5	
Precipitation, мм	42	49	61	59	49	47		307
Dec – Feb average temperature, °C							-2.3	
Dec – Feb precipitation, мм								169

Наиболее полно произошедшие изменения отображают рис. 1 и 2.

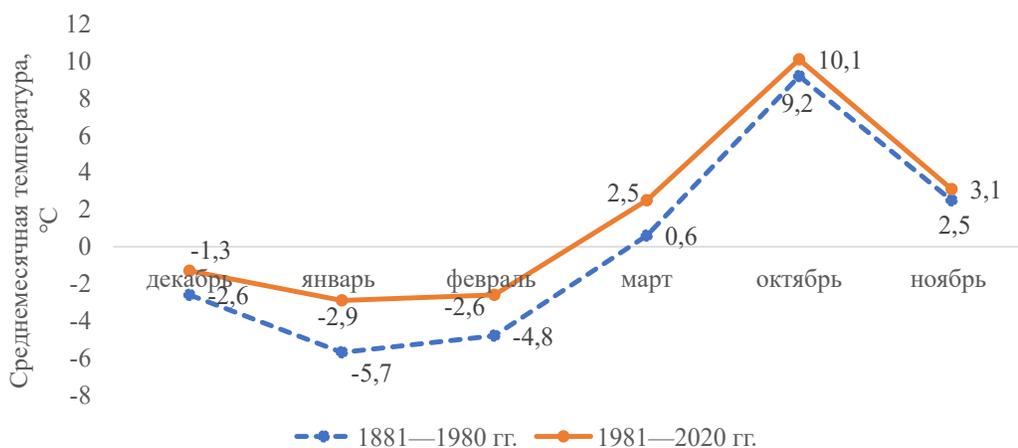


Рис. 1. Среднемесячная температура воздуха за холодный период года
Источник: выполнено Д.П. Сидаренко

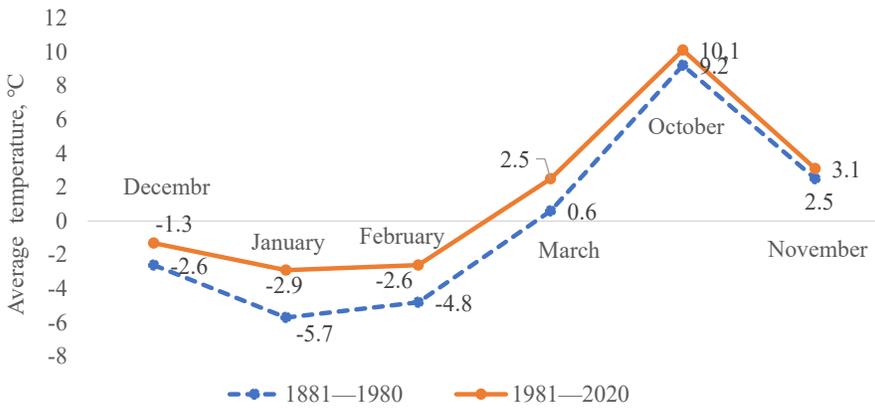


Fig. 1. Average monthly temperature for the cold period of the year
 Source: created by D.P. Sidarenko

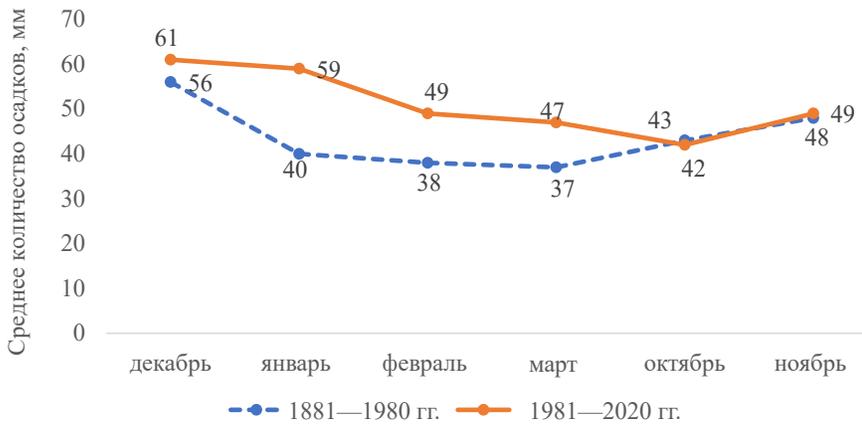


Рис. 2. Среднемесячное количество осадков за холодный период года
 Источник: выполнено Д.П. Сидаренко

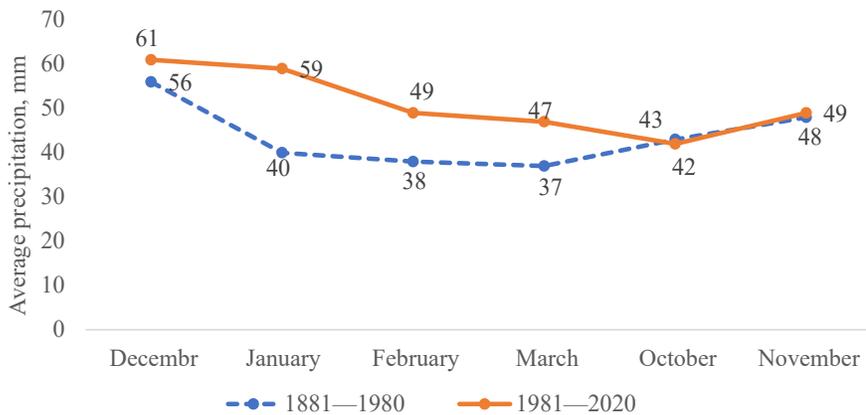


Fig. 2. Average monthly precipitation for the cold period of the year
 Source: created by D.P. Sidarenko

Судя по рис. 1 и 2, кривые по температурам воздуха не пересекают и не повторяют друг друга за весь холодный период, аналогичная закономерность за декабрь — март наблюдается и по кривым, отображающим среднее количество осадков. Но на участке с октября по ноябрь эти кривые пересекают и копируют друг друга. Как известно, количество осадков, выпавших в период «предзимья» — с середины октября до 15–20 декабря, имеет значительное влияние на образование талого стока.

Для получения более полной картины период времени 1981–2020 гг. был изучен более детально и разбит на 2 части: 1981–2000 гг. и 2001–2020 гг. (табл. 3). Кроме того, по выделенным периодам имеются данные, полученные рядом ученых [11, 12] по каждому году по запасам воды в снеге, величине стока талых вод с рыхлой и уплотненной пашне (табл. 4).

Таблица 3

Климатические условия за октябрь — март 1981–2000 гг. и 2001–2020 гг. (данные метеостанции г. Ростов-на-Дону, ГМО)

Показатель	Период, гг.	
	1981–2000	2001–2020
Средняя температура, °С		
Октябрь	9,9	10,4
Ноябрь	2,2	4,0
Декабрь	–1,6	–0,9
Январь	–2,9	–2,8
Февраль	–3,0	–2,1
Март	1,9	3,1
Средняя температура за октябрь — февраль, °С	1,1	2,0
Количество осадков, мм		
Октябрь	34,7	49,6
Ноябрь	47,4	51,2
Декабрь	68,0	54,4
Январь	53,7	63,9
Февраль	47,1	50,6
Март	41,2	52,7
Средняя сумма осадков за октябрь — февраль, мм	292,1	322,3
Средняя мощность снежного покрова, см		
Октябрь	10,5	7,7
Ноябрь	6,1	13,6
Декабрь	11,8	17,1
Январь	14,6	15,9
Февраль	14,2	10,6
Март	14,3	13,0
Средняя мощность снежного покрова за октябрь — февраль, см	11,9	13,0

**Climatic conditions in October – March 1981–2000; 2001–2020
(Data from the Rostov-on-Don weather station, HMO)**

Indicator	Period	
	1981–2000	2001–2020
Average temperature, °C		
October	9.9	10.4
November	2.2	4.0
December	-1.6	-0.9
January	-2.9	-2.8
February	-3.0	-2.1
March	1.9	3.1
Oct – Feb average temperature, °C	1.1	2.0
Amount precipitation, mm		
October	34.7	49.6
November	47.4	51.2
December	68.0	54.4
January	53.7	63.9
February	47.1	50.6
March	41.2	52.7
Oct – Feb average precipitation, mm	292.1	322.3
Average snow height, cm		
October	10.5	7.7
November	6.1	13.6
Decembr	11.8	17.1
January	14.6	15.9
February	14.2	10.6
March	14.3	13.0
Average snow height in Oct – Feb, cm	11.9	13.0

Как видно из табл. 3, разница температур воздуха за 2001–2020 гг. и 1981–2000 гг. составляет +0,9 °C, а различие по температурам воздуха за декабрь — февраль — +0,6 °C, на фоне этого отмечается увеличение количества осадков с 291,1 до 322,3 мм в целом за холодный период. Крайне интересные данные получены по мощности снежного покрова. Анализ многолетних данных выявил, что самые ранние сроки выпадения снега отмечены в октябре 1991 и 1999 гг., во втором анализируемом периоде снег в октябре месяце не выпадал. Высота снега в среднем за период составила: 1981–2000 гг. — 13,5; 2001–2020 гг. — 13,0 см, т.е. в целом за холодный период по анализируемым двум двадцатилетним отрезкам времени практически не отличалась.

Значение слоя стока при таянии снега обусловлено рядом факторов, к которым можно отнести:

– изменяющиеся (погодные условия, среди которых решающее место имеют периоды формирования оттепелей, чередующиеся с холодными морозными периодами). Данная смена снижает способность почвы впитывать образующуюся талую воду вследствие ухудшения ее водопоглощающей способности;

– постоянные, способные усугублять совместное влияние погодных условий. В первую очередь сюда следует отнести, показатели, характеризующие рельеф местности, а именно уклон, экспозиция и тип склона, а также сочетание рыхлой и уплотненной пашни, наличие стокорегулирующих лесных полос и пастбищных массивов. Перечисленные факторы в той или иной мере вызывают аккумуляцию и регулирование образовавшихся от снега талых вод.

Показатели стока талых вод в период 1981–2020 гг. существенно варьировали, что обусловлено изменением запасов воды в снеге. Данный фактор в сочетании с увлажнением почвы в период снеготаяния и рядом постоянных и изменяющихся факторов является одним из решающих.

Таблица 4

Величина стока талых вод с пашни различной степени уплотненности (1981–2020 гг.)

Периоды, гг.	Рыхлая пашня			Уплотненная пашня		
	Запас воды в снеге, мм	Сток, мм	Коэффициент стока	Запас воды в снеге, мм	Сток, мм	Коэффициент стока
1981–2000	54,2	6,1	0,07	61,2	19,1	0,27
2001–2020	31,1	2,8	0,09	35,9	5,6	0,16

Table 4

Amount of meltwater runoff from arable land of different degrees of compaction (1981–2020)

Periods	Loose soil			Compacted soil		
	Water content in snow, mm	Runoff, mm	Runoff coefficient	Water content in snow, mm	Runoff, mm	Runoff coefficient
1981–2000	54.2	6.1	0.07	61.2	19.1	0.27
2001–2020	31.1	2.8	0.09	35.9	5.6	0.16

Согласно табл. 4 во втором двадцатилетии показатели стока значительно снизились. Так величина стока талых вод с рыхлой пашни с 6,1 мм за период 1981–2000 гг. уменьшилась до 2,8 мм за период 2001–2020 гг., существенно сократились и запасы воды в снеге. Аналогичная закономерность наблюдалась и на уплотненной пашне.

Математическая обработка многолетних данных выявила зависимость между запасами воды в снеге и величиной стока, но за период 1981–2000 гг. значение коэффициента корреляции r на рыхлой пашне составило 0,3, а на уплотненной — 0,7.

Совершенно иная ситуация сложилась в 2001–2020 гг.: коэффициенты корреляции в этот период составили 0,8 и 0,9 соответственно. Такие высокие значения свидетельствуют о тесной зависимости между этими двумя показателями. Следует отметить: за период 1981–2000 гг. сток формировался на рыхлой пашне 4 года из 20 лет, на уплотненной — 15 из 20, а за период 2001–2020 гг. — 5 из 20 и 8 из 20 лет соответственно. Т.е. на рыхлой пашне вероятность формирования стока в двух периодах практически не изменилась, а на уплотненной вероятность формирования стока сократилась более чем в 2 раза.

Заключение

Анализ изменения основных климатических показателей выявил значительное увеличение температуры воздуха холодного периода и количества осадков за последние 40 лет. На фоне этого наблюдалось уменьшение запасов воды в снеге — одной из основных составляющих величины стока, формирующегося от талых вод, и как следствие, существенное сокращение стока. К таким результатам могли привести, как потепление климата на изучаемой территории, так и благоприятное влияние комплекса противоэрозионных мероприятий, заложенных в 1970-х гг.

Библиографический список

1. Природные условия и естественные ресурсы Ростовской области / под ред. Ю.П. Хрусталева и др. Ростов н/Д.: Батайское кн. изд-во, 2002. 432 с.
2. *Стригунов Ю.В.* Влияние динамики климатических факторов на изменение климата Ростовской области // *Современные проблемы и пути их решения в науке, производстве и образовании*. 2013. № 1. С. 163–166.
3. *Полужтков Е.В., Балакай Г.Т.* Влияние изменения климата на юге России на сток талых вод // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2020. № 4 (40). С. 88–102. doi: 10.31774/2222–1816–2020–4–88–10
4. *Жидкова А.Ю., Ковярова В.А.* Ростовская область — зона климатической уязвимости // *Вестник Таганрогского института имени А.П. Чехова*. 2020. № 2. С. 124–129.
5. *Полужтков Е.В., Легкая Н.В., Сидаренко Д.П.* Сток талых вод со склонов Правобережья Дона // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2010. № 4. С. 54–55.
6. *Хрусталева Ю.П., Василенко В.Н., Свислюк И.В., Панов В.Д., Ларионов Ю.А.* Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области. Ростов н/Д.: Батайское кн. изд-во, 2002. 184 с.
7. *Назаренко О.В.* Изменение некоторых метеорологических показателей в условиях засушливой степи // *Изв. вузов Северо-Кавк. регион. Естеств. науки*. 2019. № 4 (204). С. 84–90. doi: 10.23683/0321–3005–2019–4–84–90
8. *Назаренко О.В.* Изменение увлажнения в Ростовской области за период 1966–2019 годов // *Изв. вузов Северо-Кавк. регион. Естеств. наук*. 2022. № 4–2 (216–2). С. 45–52. doi: 10.18522/1026–2237–2022–4–2–45–52
9. *Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов в Ростовской области в 2020 году»* / под ред. М.В. Фишкина; М-во природ ресурсов и экологии Рост. обл. Ростов н/Д., 2021. 378 с.
10. *Полужтков Е.В.* Эрозия почв и плодородие: монография. Новочеркасск: Лик, 2020. 229 с.
11. *Полужтков Е.В.* Сток талых вод с различной по уплотненности пашни // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2015. № 3 (19). С. 139–149.
12. *Сидаренко Д.П.* Мелиорация ландшафтов на склоновых землях Приазовской зоны Ростовской области // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2019. № 2 (74). С. 17–22.

13. Гаевая Э.А., Тарадин С.А. Влияние обработки почвы на продуктивность почвозащитных севооборотов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 3–1. С. 105–108. doi: 10.24411/2500–1000–2019–10628
14. Листопадов И.Н., Игнатьев Д.С., Мищенко А.Е. Почвенное плодородие севооборотов на эрозионноопасном склоне // Плодородие. 2009. № 5 (50). С. 42–43.
15. Кисс Н.Н., Мищенко А.Е. Негативные факторы склонового земледелия // Фермер Поволжья. 2016. № 8(50). С. 28–30.

References

1. Khrustalev YP. *Prirodnye usloviya i estestvennye resursy Rostovskoi oblasti* [Natural conditions and natural resources of the Rostov region]. Rostov on Don; 2002. (In Russ.).
2. Strigunov YV. The influence of the dynamics of climatic factors on the climate change of the Rostov region. *Sovremennye problemy i puti ikh resheniya v nauke, proizvodstve i obrazovanii*. 2013;(1):163–166. (In Russ.).
3. Poluektov EV, Balakay GT. Impact of climate change on the melt water runoff in the south of Russia. *Scientific Journal of Russian Research Institute of Land Improvement Problems*. 2020;(4):88–102. (In Russ.). doi: 10.31774/2222–1816–2020–4–88–10
4. Zhidkova AY, Kovyarova VA. Rostov region — a zone of climate vulnerability. *Journal of the A.P. Chekhov Taganrog Institute*. 2020;(2):124–129. (In Russ.).
5. Poluektov EV, Legkaya NV, Sidarenko DP. Thawing runoff from the slopes at right side of the Don river. *Melioration and water management*. 2010;(4):54–55. (In Russ.).
6. Khrustalev YP, Vasilenko VN, Svisyuk IV, Panov VD, Larionov YA. *Klimat i agroklimaticheskie resursy Rostovskoi oblasti* [Climate and agro-climatic resources of the Rostov region]. Rostov on Don; 2002. (In Russ.).
7. Nazarenko OV. Variability of some meteorological parameters in the arid steppe. *Bulletin of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural sciences*. 2019;(4):84–90. (In Russ.). doi: 10.23683/0321–3005–2019–4–84–90
8. Nazarenko OV. Moisture changes in the Rostov region in 1966–2019. *Bulletin of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural sciences*. 2022;(4–2):45–52. (In Russ.). doi: 10.18522/1026–2237–2022–4–2–45–52
9. Fishkin MV. (ed.) *Ekologicheskii vestnik Dona «O sostoyanii okruzhayushchei sredy i prirodnikh resursov v Rostovskoi oblasti v 2020 godu* [Ecological Bulletin of the Don ‘On the state of the environment and natural resources in the Rostov region in 2020’]. Rostov on Don; 2021. (In Russ.).
10. Poluektov EV. *Eroziya pochv i plodorodie* [Soil erosion and fertility]. Novochech. Novochechsk: Lik publ.; 2020. (In Russ.).
11. Poluektov EV. Runoff of melting waters from arable lands of different compactness. *Scientific Journal of Russian Research of Land Improvement Problems*. 2015;(3):139–149. (In Russ.).
12. Sidarenko DP. Landscape reclamation on the sloping lands of the Azov zone of the Rostov region. *Ways of increasing the efficiency of irrigated agriculture*. 2019;(2):17–22. (In Russ.).
13. Gaeva EA, Taradin SA. The influence of soil tillage on the productivity of soil-protective crop rotations. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019;(3–1):105–108. (In Russ.). doi: 10.24411/2500–1000–2019–10628
14. Listopadov IN, Ignatiev DS, Mishchenko AE. Soil Fertility in Crop Rotations on Erodible Slopes. *Plodorodie*. 2009;(5):42–43. (In Russ.).
15. Kiss NN, Mishchenko AE. Negative factors of slope farming. *Fermer. Povolzh’e*. 2016;(8):28–30. (In Russ.).

Об авторе:

Сидаренко Дмитрий Петрович — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела сельскохозяйственной мелиорации, ФГБНУ «РосНИИПМ», Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр-т Баклановский, д. 190; e-mail: sidarenko1@mail.ru
ORCID: 0000–0002–3273–6499 SPIN-код: 6030–5930

About author:

Sidarenko Dmitry Petrovich — Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Department of Agricultural Land Reclamation, Russian Research Institute of Problems of Land Reclamation, 190 Baklanovsky ave., Rostov region, Novochechsk, 346421, Russian Federation; e-mail: sidarenko1@mail.ru
ORCID 0000–0002–3273–6499; SPIN-code: 6030–5930



Озеленение населенных пунктов Landscaping of settlements

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-281-301

EDN: HHHGTI

УДК 502.36:551.578.1(47+57–25)

Научная статья / Research article

Оценка эффекта применения природоподобных решений в управлении ливневыми водами на примере бывшей промышленной зоны в г. Москве

О.Н. Ромзайкина¹  , А.А. Бубушян², И.С. Щукин³ , В.И. Васенев¹ ¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация²Ассоциация Гильдия ландшафтных инженеров, г. Москва, Российская Федерация³Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь,
Российская Федерация romzaykina-on@rudn.ru

Аннотация. Развитие водно-зеленой инфраструктуры — новое, но активно развивающееся направление в городской экологии и планировании, особенно актуальное в контексте глобальных климатических изменений, которые помимо повышения температуры приводят к учащению нехарактерных для средней полосы ливневых осадков. Ситуацию с подтоплением территорий существенно ухудшают не только высокая доля водонепроницаемых покрытий в городе, но и затрудняющие поверхностный сток недостаточные уклоны вертикальной планировки, характерные для старых районов города или территорий бывших промышленных зон. Повышение вероятности ливневых осадков приводит к дополнительной нагрузке на инженерные коммуникации и заставляет задуматься об альтернативных решениях, таких как дождевые сады. В исследовании оценивалась эффективность снижения рисков подтопления в результате применения дождевых садов на территории планируемого жилищного комплекса в Московском

© Ромзайкина О.Н., Бубушян А.А., Щукин И.С., Васенев В.И., 2024

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

мегаполисе. Результаты моделирования уклонов поверхности территории показали, что 1/3 территории без учета автомобильных дорог имеет неблагоприятный уклон (менее 0,5 %) для формирования поверхностного стока на озелененных участках. При этом наиболее неблагоприятные участки с уклоном ниже 0,003 (0,3 %) составляют 13,7 % территории. Также было определено, что преобладающим типом водосборных поверхностей территории являются водосборы депрессионных форм рельефа, для которых наиболее подходящее решение по отводу поверхностного стока — дождевые сады. При этом увеличение площади дождевых садов до 1,5...5 % от водосборной территории различных функциональных зон показало снижение расчетных расходов поверхностного стока с 0 до 78 %. Наибольшее снижение наблюдали при увеличении площади дождевых садов до 3 %, а дальнейшее увеличение дает незначительный эффект. При этом для рекреационных зон с преобладанием открытых типов поверхности, напротив, замена газона на дождевые сады более чем на 2 % площади избыточна, поэтому при увеличении доли дождевых садов в парках на территории исследования величина перелива стремится к нулю. Таким образом, для объекта исследования площадью 95 га наиболее эффективная площадь дождевых садов — 2,5 га, при этом в рекреационных зонах под дождевые сады рекомендуется использовать только 0,5 га.

Ключевые слова: дождевые сады, водно-зеленая инфраструктура, ландшафтное планирование, поверхностный сток, ливневая канализация

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

Вклад авторов. О.Н. Ромзайкина — анализ полученных данных, написание текста; А.А. Бубушян — обработка пространственных данных; И.С. Шукин — расчетная часть и написание текста; В.И. Васенев — концепция и дизайн исследования.

Финансирование. Расчеты, пространственный анализ, а также подготовка статьи были выполнены при поддержке Российского научного фонда (проект № 23–77–01069).

История статьи: поступила в редакцию 16 марта 2024 г., принята к публикации 17 апреля 2024 г.

Для цитирования: Ромзайкина О.Н., Бубушян А.А., Шукин И.С., Васенев В.И. Оценка эффекта применения природоподобных решений в управлении ливневыми водами на примере бывшей промышленной зоны в г. Москве // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 281–301. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-281-301

The effects of implementation of nature-based solutions in stormwater management for the case of a former industrial zone in Moscow

Olga N. Romzaykina¹  , Alina A. Bubushyan²,
Igor S. Shchukin³ , Vyacheslav I. Vasenev¹ 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²NCO Association Landscape Engineers Guild, Moscow, Russian Federation

³Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

 romzaykina-on@rudn.ru

Abstract. The development of blue-green infrastructure is a new, but dynamic trend in urban ecology and city planning, especially relevant in the global climate change context, that in addition to increasing temperatures leads to intensification of storm precipitation unusual for the middle zone. The situation with surface flooding is significantly worsened not only by the high percentage of impermeable surfaces in the city, but also by small

slopes, which lead to the difficulties of surface runoff. This factor is typical for old city districts or former industrial areas. The increasing storm rainfall leads to additional load on engineering communications and forces to think about alternative solutions, such as rain gardens. The paper evaluated the efficiency of flood risk reduction due to the application of rain gardens on the territory of the projected residential complex in the Moscow megalopolis. The results of modeling the surface slopes of the territory showed that 1/3 of the territory excluding highways has an unfavorable slope (less than 0.5%) for the formation of surface runoff in green areas. At the same time, the most unfavorable areas with slope below 0.003 (0.3 %) account for 13.7% of the territory. It was also determined that the predominant type of catchment surfaces of the territory are catchments of depressional landforms, the most suitable solution for surface runoff drainage for which are rain gardens. At the same time, an increase in the area of rain gardens from 1.5 to 5% of the catchment area of various functional zones showed a decrease in the calculated surface runoff rates from 0 to 78%. The greatest reduction was observed when increasing the area of rain gardens up to 3%, and further increase gave insignificant effect. At the same time, for recreational areas, replacing lawn to rain gardens by more than 2% is excessive, so when the proportion of rain gardens in parks in the study area is increased, the value of overflow tends to zero. Thus, the most effective area of rain gardens for the case study (area — 95 ha) is 2.5 ha, while in recreational zones it is recommended to use only 0.5 ha for rain gardens.

Keywords: rain garden, blue-green infrastructure, landscape planning, surface runoff, storm water drainage

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Author contributions. O.N. Romzaykina analyzed the data, wrote the manuscript; A.A. Bubushyan processed spatial data; I.S. Shchukin analyzed the data, wrote the manuscript; V.I. Vasenev developed and designed experiments.

Acknowledgements. Processing, spatial analysis, and preparation of the article were supported by the Russian Science Foundation (project No. 23–77–01069).

Article history: Received: 16 March 2024. Accepted: 17 April 2024.

For citation: Romzaykina ON, Bubushyan AA, Shchukin IS, Vasenev VI. The effects of implementation of nature-based solutions in stormwater management for the case of a former industrial zone in Moscow. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):281–301. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-281-301

Введение

Проблема изменения климата стоит достаточно остро не только в связи с последствиями для продовольственной безопасности, но и влиянием на комфортность и безопасность жизни в городах¹. Согласно шестому оценочному докладу ООН риски климатических изменений в ближайшие десятилетия будут только нарастать, при этом будет увеличиваться уязвимость городских экосистем [1–3]. Увеличение выбросов парниковых газов напрямую приводит к повышению температуры, в результате чего южные циклоны проходят дальше на север, приводя к увеличению экстремальных ливневых осадков на территориях, для которых ранее такие погодные явления не были характерными. Так, за последние 30 лет количество ливневых осадков, нанесших ущерб и вред экономике и населению России, увеличилось в несколько раз [4]. При этом в городах с большим количеством в атмосфере аэрозолей, выступающими в виде ядер концентраций, частота сильных дождей значительно выше, чем на фоновых территориях².

¹ UN. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development: Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015.

² Доклад о климатических рисках на территории Российской РФ / отв. ред. В.М. Катцов. СПб.: Климатический центр Росгидромета, 2017.

Наряду с рисками затопления, активный поверхностный сток способствует переносу различных загрязняющих веществ [5, 6]. Так, например, основным источником загрязнения окружающей среды в Московском мегаполисе является автотранспорт, помимо атмосферы, активный перенос дождевым и талым стоком продуктов использования горюче-смазочных материалов и эксплуатации автомобилей (например, образующихся в ходе износа шин и тормозных колодок) загрязняет природные компоненты городской экосистемы [7–9].

Рост численности городского населения приводит не только к увеличению площади урбанизированных территорий, но и к более эффективному использованию внутригородских территорий, например, проект Правительства Москвы по комплексному развитию территорий предусматривает освоение бывших промышленных зон³ под новые точки притяжения, включая жилые, общественные и рекреационные объекты. Это одна из эффективных стратегий мастер-планирования городов. Однако, промышленные территории отличаются низкой долей озеленения, загрязненными грунтами и преобладанием незначительных уклонов от 0,003 до 0,05⁴, что повышает стоимость реализации объектов, удешевить которую в значительной степени позволяет организация новых пространств с минимальными изменениями уклонов (до 0,005), однако, такой подход может осложнять поверхностный сток на озелененных участках.

Устройство традиционных систем ливневой канализации является сложным и дорогостоящим мероприятием независимо от функционального назначения объекта [10]. При этом одним из важнейших вопросов является решение по сбросу отводимой по сети ливневой канализации поверхностных сточных вод, в т.ч. подвергшихся очистке. Сложности возникают и с подключением подземной трубопроводной сети дождевой канализации крупных объектов застройки к существующим коллекторам, которые, как правило, и так перегружены [11]. В случае отсутствия поблизости к проектируемому объекту доступных для подключения централизованных систем отведения поверхностного стока появляется необходимость проектирования отдельной автономной системы ливневой канализации, включающей трубопроводную сеть и очистные сооружения перед сбросом в водный объект. При этом получившие распространение очистные сооружения механической и физико-химической очистки поверхностного стока характеризуются высокой стоимостью строительства и эксплуатации, а также приводят к отчуждению территории на площадке застройки под строительство очистных сооружений [12]. Дополнительно усложняет и удорожает водоотведение отсутствие выраженного уклона территории со значительной площадью, т.е. при самотечной работе сетей ливневой канализации увеличивается глубина заложения сети на конечных участках.

Поэтому в современном городе необходимо организовывать устойчивое управление поверхностным стоком за счет озеленения и архитектурно-планировочных

³ Московская программа комплексного развития территорий // Проект Правительства Москвы. Режим доступа: <https://iquarters.ru> Дата обращения: 12.01.2024.

⁴ СП 18.13330.2019. Производственные объекты. Планировочная организация земельного участка (СНиП П-89–80* «Генеральные планы промышленных предприятий»). М., 2019. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/564221198> Дата обращения: 15.12.2023.

решений улиц и рекреационных зон. В конце 2021 г. на выездном заседании комитета по науке, образованию и культуре были представлены положения Стратегии развития природоподобных (конвергентных) технологий в РФ, которая подчеркивает важность замены или дополнения промышленных технологий природоподобными технологиями, не наносящими вред окружающей среде⁵. Одним из инструментов развития водно-зеленой инфраструктуры города является проектирование дождевых садов. Это элемент озеленения, представляющий собой пониженный участок рельефа, как правило заполненный почвогрунтом с высаженными многолетними травянистыми растениями, который принимает сток от дождей и талого снега. Попавший в дождевые сады сток впитывается в грунт или медленно выпускается в ливневую канализацию, тем самым снижая нагрузку на систему ливневой канализации и очистные сооружения как по пиковым расходам и общему объему отводимых вод, так и по загрязняющим веществам.

В дождевые сады высаживаются ассортимент из морозоустойчивых влаголюбивых растений, способных впитывать и очищать воду в необходимых объемах. При этом дождевые сады в отличие от традиционных очистных сооружений не изымают территорию из использования, а органично вписываются в нее и являются элементами благоустройства и озеленения. Благодаря использованию трав и цветущих многолетних растений дождевые сады являются эффективным и красивым способом отведения поверхностного стока в городских общественных пространствах.

Однако, на текущий момент по внедрению природоподобных решений Россия значительно отстает от стран ЕС, США и Китая. Например, в США первые дождевые сады появились в 1990-х гг. [13, 14]. Технология быстро набрала популярность сначала в США, а затем распространилась по всему миру, тогда как в России дождевые сады начали появляться совсем недавно с Санкт-Петербурга⁶, Перми⁷ и Тюмени⁸. Одно их основных ограничений для широкого распространения водно-зеленых решений является недостаток убедительных доказательств их эффективности. Поэтому **целью исследования** стала оценка эффекта применения природоподобных решений для снижения проблем затопления территории с минимальным уклоном и снижения нагрузки на ливневую канализацию.

Материалы и методы исследования

Объект исследования — бывшая промышленная территория в Даниловском районе Южного административного округа города Москвы общей площадью 113 га, что составляет практически 10 % от площади района по данным ресурса

⁵ Хадыкин М. Наука для жизни: как в РФ будут развивать природоподобные технологии // Известия. 29.11.2021. Режим доступа: <https://iz.ru/1256928/maksim-khodykin/nauka-dlia-zhizni-kak-v-rf-budut-razvivat-prirodopodobnyetehnologii> Дата обращения: 25.11.2023.

⁶ Озерный парк в Новом Девяткино // АЛАРОС. 03.12.2020. Режим доступа: alaros.ru/news/ozernyj_park_v_novom_devjat_kino/ 2020–12–03–96 Дата обращения: 26.11.2023

⁷ Михеечева А. В Перми состоялось открытие первого дождевого сада в долине реки Егошихи // Муниципальное образование город Пермь. 22.06.2022. Режим доступа: https://www.gorodperm.ru/news/2022/06/22_%2016:05:00+05/58274-id/ Дата обращения: 04.12.2023

⁸ Садырина С. В Тюмени появятся дождевые сады по типу голландских // РБК. 28.11.2021. Режим доступа: <https://trbc.ru/tyumen/28/11/2021/61a0a1389a7947f5d12de944> Дата обращения: 25.11.2023.

OpenStreetMap.ru. Архитектурно-градостроительная концепция реорганизации объекта исследования в жилую зону, принятая в 2016 г., помимо жилой зоны включила в себя зеленые насаждения, общественно-деловой кластер, а также объекты школьного и дошкольного образования⁹ (рис. 1).

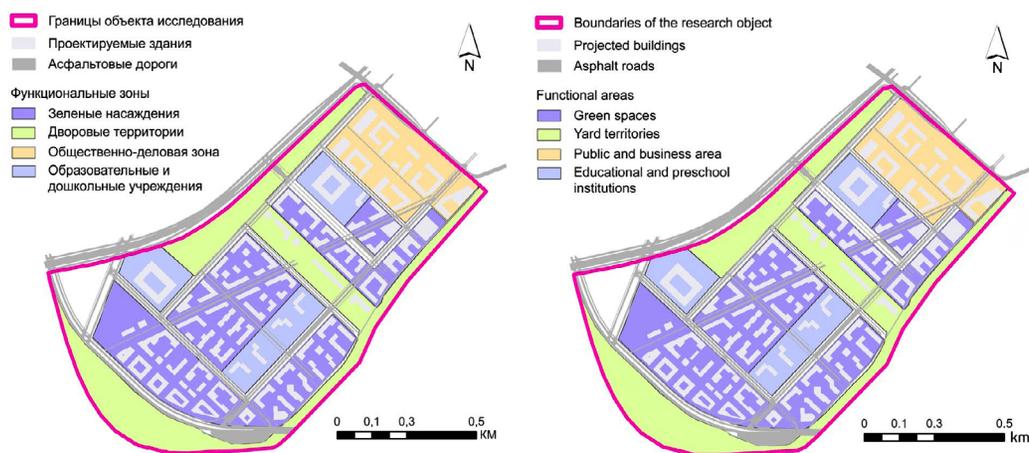


Рис. 1. Планировочная структура проектируемой территории к реконструкции

Источник: выполнила О.Н. Ромзайкина с помощью ArcGIS Pro 3.2

Fig. 1. Planning structure of the designed area to be reconstructed

Source: created by O.N. Romzaykina using ArcGIS Pro 3.2

Объект исследования относится к умеренно-континентальной климатической зоне и расположен на I и II надпойменных террасах древнеаллювиальной равнины в окружении ровной и мелковолнистой поймы Москвы-реки [15]. По данным метеостанции Балчуг за последние 10 лет среднегодовые значения температуры составляет $+8,1$ °С, минимальное значение температуры зафиксировано 07.01.2017 ($-27,8$ °С), а максимальное — 23.06.2021 ($+35,8$ °С). Среднее годовое количество осадков составляет 520 мм, максимальное количество за 12 часов — 44 мм — зафиксировано 08.07.2018. Устойчивый снежный покров зачастую лежит со второй декады ноября по начало апреля, среднегодовая высота снежного покрова составляет 20,6 см, максимальная высота отмечена 15.03.2022 — 164 см.¹⁰

Существующая древесная растительность покрывает менее 10% территории преимущественно по краю и представлена в основном самосевом молодой поросли таких видов как тополь белый (*Populus alba*), тополь обыкновенный (*Populus sp.*), береза повислая (*Betula pendula*), клен ясенелистный (*Acer negundo*), осина обыкновенная (*Populus tremula*). Почвы представлены техногенно измененными грунтами (урбоквазисемами), преимущественно легкого гранулометрического состава

⁹ Тарабарина Ю. Прекрасный ЗИЛ: отчет о неформальном архсовете // Archi.ru. 17.12.2020. Режим доступа: <https://archi.ru/russia/88188/prekrasnyi-zil-otchet-o-neformalnom-arkhsovete> Дата обращения: 12.10.2023.

¹⁰ ООО «Расписание Погоды». Режим доступа: <https://rp5.ru> Дата обращения: 25.11.2023.

(песок и супесь), с большим количеством антропогенных включений. Проектом предусмотрено создание новых рекреационных зон и озеленение дворов, школ, общественных зон и межквартальных территорий.

Пространственный анализ включал в себя оцифровку мастер-плана территории, построение цифровой модели рельефа (ЦМР) по данным геодезической съемки (8025 точек), определение уклонов поверхности в процентах. Данный блок исследования, включая расчет баланса территории и зональной статистики растровых данных, проведен с использованием программного обеспечения ArcGIS Pro 3.2. Моделирование системы водотоков и оценка типов водосборной поверхностей произведены в программном обеспечении Autodesk AutoCAD Civil 3D.

Анализ характеристик поверхностного стока на территории. Для снижения объемов и расходов отводимого по системе ливневой канализации стока предлагается устройство сооружений водно-зеленой инфраструктуры для приема слабозагрязненного поверхностного стока с кровель, тротуаров и озелененных территорий перед сбросом в канализацию. Сток с автодорог при этом предлагается направлять через дождеприемники напрямую в систему ливневой канализации и далее на очистные сооружения. В связи с этим в последующих расчетах оценивались объемы стока без учета площадей автомобильных дорог.

В исследовании было рассмотрено два расчетных случая: 1) когда дождевые сады рассчитаны на прием 70 % годового объема поверхностного стока (сток от дождей с периодом однократного превышения $P = 0,1$ года), что соответствует требованиям п. 7.3.2 СП 32.13330.2018¹¹ для селитебных территорий); 2) когда дождевые сады рассчитаны на прием 100 % годового объема (сток от дождей с периодом однократного превышения $P = 1$ год) поверхностного стока. Для обоих случаев выполнена оценка величины сокращения расчетных расходов стока, отводимых по системе ливневой канализации.

Суммарный объем чаш дождевых садов рассчитан на прием стока от расчетного дождя. Величина расчетного суточного слоя осадков для обоих случаев была принята на основании статистически обработанных данных многолетних наблюдений на ближайшей репрезентативной метеостанции М-2 Москва ВДНХ (СИ — 27612)¹⁰.

Расчетный объем стока W_d , отводимого на очистку (принимаемого дождевыми садами), определялся по формуле

$$W_d = 10ha \cdot \Psi_{mid} F, \quad (1)$$

где 10 — переводной коэффициент; ha — максимальный суточный слой осадков за дождь, сток от которого подвергается очистке в полном объеме, мм; Ψ_{mid} — средний коэффициент стока для расчетного дождя (определяется как средневзвешенное значение в зависимости от постоянных значений коэффициента стока Ψ_i для разного вида поверхностей); F — площадь стока, га.

Суммарная площадь дождевых садов определялась как отношение объема стока от расчетного дождя, принимаемого дождевыми садами, к расчетной глубине чаш дождевых садов, принятой за 30 см.

¹¹ СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. М., 2019. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/554820821> Дата обращения: 15.12.2023.

После определения общей площади дождевых садов производился уточняющий расчет коэффициента стока ψ_{mid} и коэффициента покрова z_{mid} , так как площадь дождевых садов изымалась из площади озеленения. Коэффициенты стока и покрова поверхности дождевых садов при этом принимались как для водонепроницаемых поверхностей.

Ввиду того, что концепция применения сооружений водно-зеленой инфраструктуры предполагает равномерное распределение сооружений по канализуемой территории, дальнейшие расчеты проводились на единичный условно-типовой дождевой сад площадью 30 м².

Далее проводился расчет расходов, поступающих в дождевой сад. Соотношение площади единичного дождевого сада к площади его водосбора и средневзвешенный коэффициент покрова водосбора при этом принимались аналогичными значениям для всей функциональной зоны.

При гидравлическом расчете сетей водоотведения поверхностных сточных вод расходы в сетях водоотведения, л/с, отводящих сточные воды с селитебных территорий, определялись методом предельных интенсивностей, согласно методике, представленной в приложении Ж СП 32.13330.2018¹¹:

$$q_r = \frac{z_{\text{mid}} A^{1,2} F}{t_r^{1,2n-0,1}}, \quad (2)$$

где A , n — параметры, характеризующие интенсивность и продолжительность дождя для конкретной местности; z_{mid} — среднее значение коэффициента покрова, характеризующего поверхность бассейна стока, определяемое как средневзвешенное значение коэффициентов поверхностей на территории водосбора; F — расчетная площадь стока, га; t_r — расчетная продолжительность дождя, равная продолжительности протекания поверхностных вод по поверхности, лоткам и трубам до расчетного участка, мин.

Параметры, характеризующие интенсивность, определялись по формуле

$$A = q_{20} 20^n (1 + \lg P / \lg m_r)^\gamma, \quad (3)$$

где q_{20} — интенсивность дождя для данной местности продолжительностью 20 мин при $P = 1$ год; n — показатель степени; m_r — среднее количество дождей за год; P — период однократного превышения расчетной интенсивности дождя, годы; γ — показатель степени.

Время добега стока до расчетного створа t_r дождеприемника в случае отсутствия дождевых садов и входа в дождевой сад при их наличии определялось по формуле

$$t_r = t_{\text{con}} + t_{\text{can}}, \quad (4)$$

где t_{con} — продолжительность протекания дождевых вод до уличного лотка (время поверхностной концентрации), принимается равным 2 мин, согласно п. Ж.6 приложения Ж СП 32.13330.2018⁹; t_{can} — продолжительность протекания дождевых вод по уличным лоткам определяется по формуле

$$t_{\text{can}} = 0,021 \sum \frac{t_{\text{can}}}{v_{\text{can}}}, \quad (5)$$

где l_{can} — длина участков лотков, м, принимается равной длине диагонали квадрата с площадью равной площади водосбора дождевого сада; v_{can} — расчетная скорость течения стока на участке, принимаемая 0,7 м/с.

Объем дождевого стока V_d , прошедшего через расчетный створ (поступившего в дождевой сад или дождеприемник) за произвольный период t_r , определяется как произведение расхода в конце периода времени $Q_r(t_r)$ на его продолжительность по формуле

$$V_d = t_r \cdot Q_r(t_r). \quad (6)$$

Перелив поверхностного стока в систему ливневой канализации наступает в момент заполнения «чаши» дождевого сада. Расход перелива $Q_r^{\text{пер}}$ определяется как расход дождевого стока по формуле (2) в момент заполнения «чаши» дождевого сада $t_r^{\text{зап}}$ при $V_d = V_{\text{ч дс}}$. Объем чаши дождевого сада $V_{\text{ч дс}}$ определяется как произведение его площади $S_{\text{дс}}$ на глубину $h_{\text{дс}}$, принимаемую 0,3 м, на основании рекомендаций по проектированию дождевых садов^{12, 13, 14}.

Максимальный расход дренажных вод (фильтрата) $Q_{\text{др}}$, прошедших через фильтрующую загрузку дождевого сада, определяется по формуле

$$Q_{\text{др}} = S_{\text{дс}} \cdot v_{\text{дс}}^{\text{max}}, \quad (7)$$

где $S_{\text{дс}}$ — площадь дождевого сада в плане, м²; $v_{\text{дс}}^{\text{max}}$ — максимальная (начальная) пропускная способность фильтрующей загрузки дождевых садов на основании рекомендаций по проектированию дождевых садов принимается 0,3 м/ч.

Величина относительного сокращения расчетного расхода в системе ливневой канализации после дождевых садов ΔQ для двух расчетных случаев определена по формуле

$$\Delta Q = \frac{Q_r^{P=1} - Q_r^{\text{пер}} + Q_{\text{др}}}{Q_r^{P=1}} \cdot 100 \%, \quad (8)$$

где $Q_r^{P=1}$ — расчетный расход от дождя с $P = 1$ год; $Q_r^{\text{пер}}$ — расчетный расход перелива дождевого сада; $Q_{\text{др}}$ — расход дренажного стока (фильтрата) дождевого сада, прошедший через фильтрующую загрузку.

Результаты исследования и обсуждение

Оценка благоприятности уклонов проектируемой территории. Исходная территория для будущего жилищного комплекса отличается незначительным перепадом рельефа. 7/8 участка располагается на высоте с перепадом от 121 до 124 м над уровнем Балтийского моря, также на объекте есть незначительные повышения (124...129 м) в зоне с проектируемыми объектами озеленения (рис. 2).

¹² Rain Garden Construction Guide. 2011. URL: <http://www.aucklandcouncil.govt> Accessed: 26.11.2023.

¹³ Stormwater Best Management Practices (BMP) Performance Analysis. URL: <https://www3.epa.gov/region1/npdes/stormwater/tools/BMP-Performance-Analysis-Report.pdf> Accessed: 26.11.2023.

¹⁴ Stormwater Management Design Manual. 2014. URL: <https://www.princegeorgescountymd.gov/DocumentCenter/View/4782> Accessed: 26.11.2023.

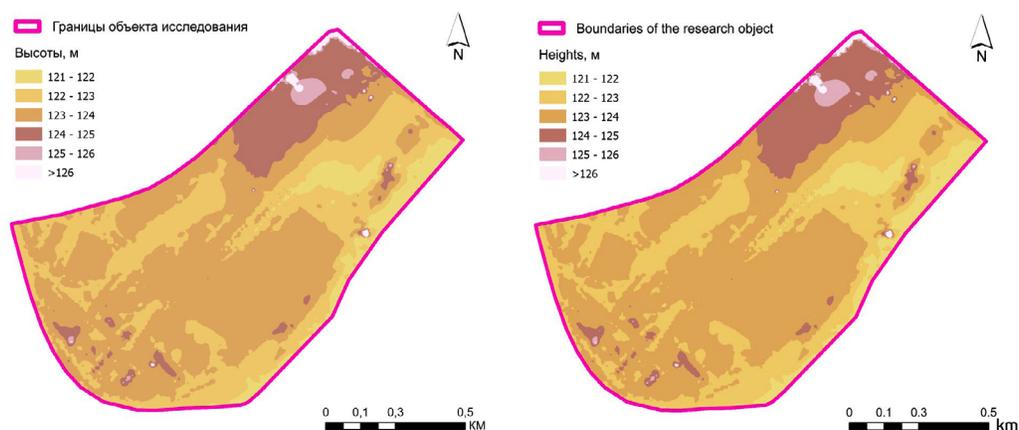


Рис. 2. Цифровая модель рельефа объекта исследования

Источник: выполнила О.Н. Ромзайкина с помощью ArcGIS Pro 3.2

Fig. 2. Digital elevation model of the study site

Source: created by O.N. Romzaykina using ArcGIS Pro 3.2

Результаты моделирования уклонов поверхности территории показали, что 2/3 территории без учета автомобильных дорог имеют благоприятный уклон для застройки и поверхностного стока — свыше 0,005 (0,5 %), но не более 0,1 (10 %). При этом наиболее неблагоприятные участки с уклоном ниже 0,003 (0,3 %) составляют 13,7 % территории, что в пересчете на общую площадь представляет собой более 13,0 га (рис. 3, табл. 1).

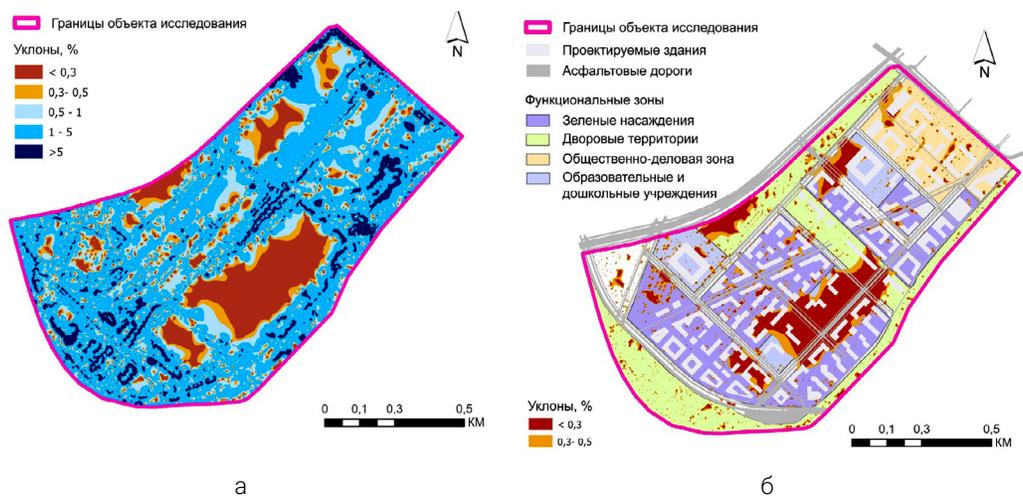


Рис. 3. Картограмма уклонов поверхности объекта исследования (а) и распределение неблагоприятных уклонов по функциональным зонам (б)

Источник: выполнила О.Н. Ромзайкина с помощью ArcGIS Pro 3.2

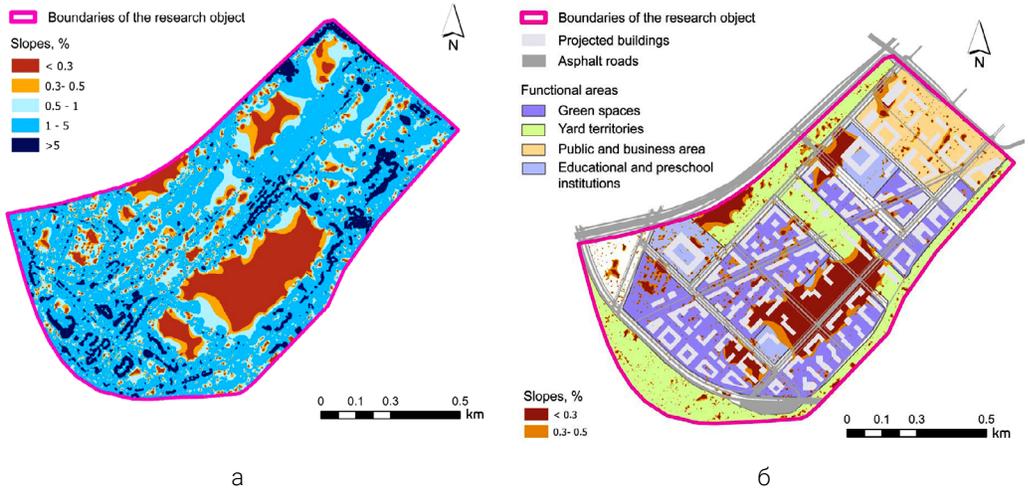


Fig. 3. Map of surface slopes of the study site (a) and distribution of unfavorable slopes by functional zones (b)

Source: created by O.N. Romzaykina using ArcGIS Pro 3.2

Если рассматривать распределение уклонов по функциональным зонам, то практически половина от общей доли участков с уклоном ниже 0,003 (0,3 %) располагается на дворовых территориях — 5,1 га, а также в зоне проектируемых школ и дошкольных учреждений — 4,4 га. Однако, в процентном соотношении для вторых — это 35,2 %. Территории с уклоном от 0,3 до 0,5 % будут обладать минимальным уклоном для формирования стока по твердым покрытиям, однако, в отличие от зеленых насаждений, создание дорожно-тропиночной сети подразумевает под собой мероприятия по вертикальной планировке и созданию как продольных, так и поперечных уклонов. Тогда как уклоны ниже 0,3 % будут по-прежнему недостаточны для формирования стока на озелененных участках, где вертикальная планировка не всегда предусматривается проектами. Таких участков на территории гораздо меньше (общая площадь равна 7,5 га), и они сконцентрированы в основном по периметру участков с недопустимыми уклонами (см. рис. 3). Практически половина таких участков располагается на территориях дворов, занимая суммарную площадь в 3,4 га, а в зоне планируемых парков участки с уклонами от 0,3 до 0,5 % занимают 1,9 га, на территориях школ и дошкольных учреждений — 1,3 га. Наиболее благоприятные исходные условия характерны для общественно-деловой зоны (табл. 1).

Таблица 1

Баланс функциональных зон и доля площадей с различными категориями уклонов на территории исследования

Функциональные зоны	Площадь, га	Доля территории с уклоном, %				
		< 0,3	0,3...0,5	0,5...1	1...5	> 5
Дворовые территории	41,81	12,3	8,1	17,5	53,4	8,7
Общественно-деловая зона	12,99	4,0	7,3	21,1	60,0	7,7
Зеленые насаждения (парки)	27,44	10,6	6,9	16,5	53,5	12,6

Окончание табл. 1

Функциональные зоны	Площадь, га	Доля территории с уклоном, %				
		< 0,3	0,3...0,5	0,5...1	1...5	> 5
Образовательные учреждения (школы и детские сады)	12,74	35,2	10,3	16,8	36,5	1,3
Общая площадь (без учета автомобильных дорог)	94,98	13,7	7,9	17,6	52,1	8,7

Table 1

The balance of functional zones and the proportion of areas with different categories of slopes in the study area

Functional areas	Area, ha	The share of the territory with a slope, %				
		< 0.3	0.3...0.5	0.5...1 %	1...5 %	5 %
Yard territory	41.81	12.3	8.1	17.5	53.4	8.7
Public and business area	12.99	4.0	7.3	21.1	60.0	7.7
Green spaces (parks)	27.44	10.6	6.9	16.5	53.5	12.6
Educational institutions (schools and kindergardens)	12.74	35.2	10.3	16.8	36.5	1.3
Total area (excluding highways)	94.98	13.7	7.9	17.6	52.1	8.7

Оценка условий образования поверхностного стока. Природоподобные решения направлены на решения вопросов с перехватом стока и его инфильтрацией на локальном, а не общегородском уровне. Для проверки гипотезы о целесообразности использования природоподобных решений в качестве альтернативы работ по сплошной вертикальной планировке были проведены моделирование системы водотоков и оценка типов водосборной поверхности на объекте исследования. Анализ водостоков позволил выявить траектории течения стока и определить места затопления. Водосборные бассейны стока были рассчитаны по 5 различным типам, чтобы выявить водосборы впадин (депресссионных форм рельефа) и горизонтальные водосборы, которые больше всего подходят для размещения локальных природоподобных решений. Оценка типов водосборов поверхностей позволила сделать вывод, что на территории преобладают водосборы впадин (экспликация красным цветом). В таких областях есть участки понижений, в которые стекает вода и образуется неопределенный сток. Именно на таких участках понижений предпочтительно устраивать линейные дождевые сады для увеличения скорости инфильтрации. В местах водосборов горизонтальной области (экспликация желтым цветом) целесообразно устраивать полигональные природоподобные решения, например, сухие пруды, такой тип решений предпочтителен для рекреационных объектов. Комбинация двух типов анализа позволяет сделать вывод, что на участках проектируемых школ и дошкольных учреждений предпочтительно устраивать протяженные дождевые сады, тогда как, например, в дворовой зоне есть участки, где целесообразнее размещать как линейные дождевые сады, так и дождевые сады сложной формы, образующие сеть водно-зеленых решений.

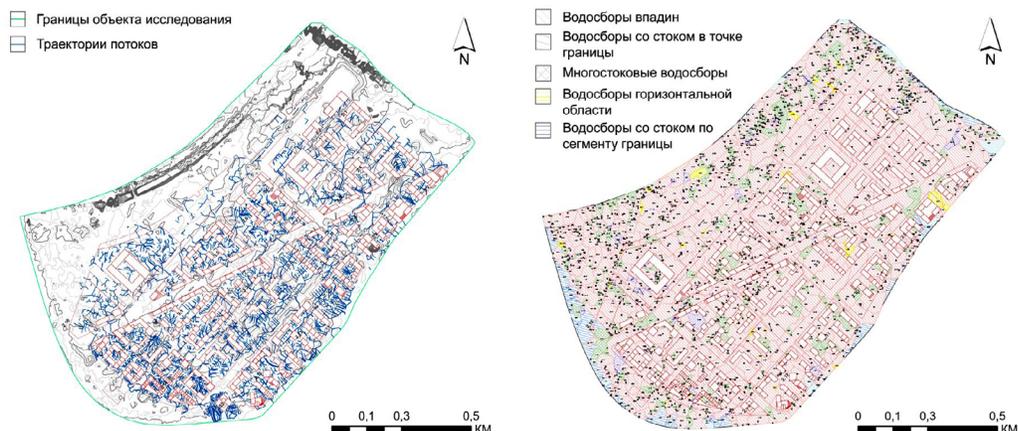


Рис. 4. Картограмма траекторий потоков воды и типов водосборов на объекте исследования
 Источник: выполнила А.А. Бубушян с помощью Autodesk AutoCAD Civil 3D

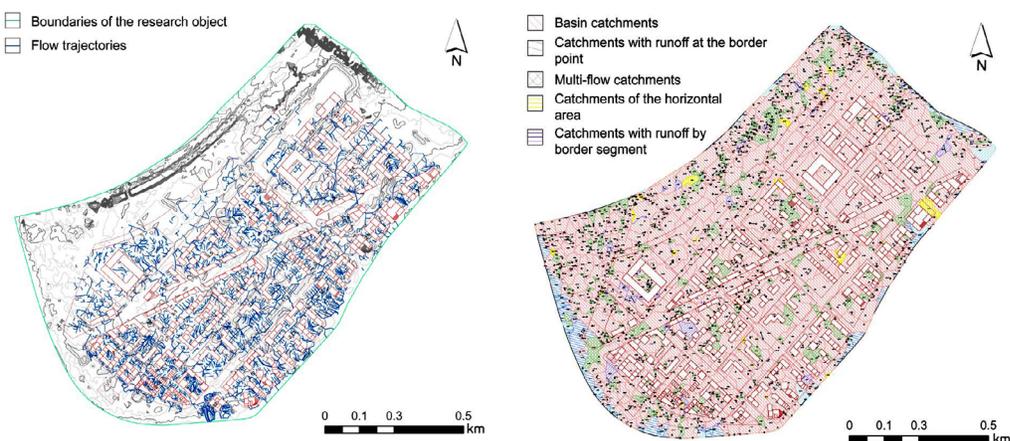


Fig. 4. Map of water flow trajectories and catchment types at the study site
 Source: created by A.A. Bubushyan using Autodesk AutoCAD Civil 3D

Оценка количественных характеристик поверхностного стока. Данный блок исследований был направлен на определение наиболее эффективной доли водно-зеленых решений для предотвращения временного подтопления территории в ходе ливневых осадков с помощью инфильтрации.

На основании обработки метеоданных о распределении суточных слоев дождевых осадков за теплый период года (рис. 5) по методике, представленной в приложении Е СП32.13330.2018¹¹, была определена величина слоя осадков, обеспечивающих 70 и 100 % годового объема. Так, максимальный суточный слой дождевых осадков, при котором обеспечивается прием на очистные сооружения 70 % суммарного годового количества осадков (ha_{70} %), составил 7,24 мм, а 100 % суммарного количества годового осадков (ha_{100} %) — при слое 30 мм.

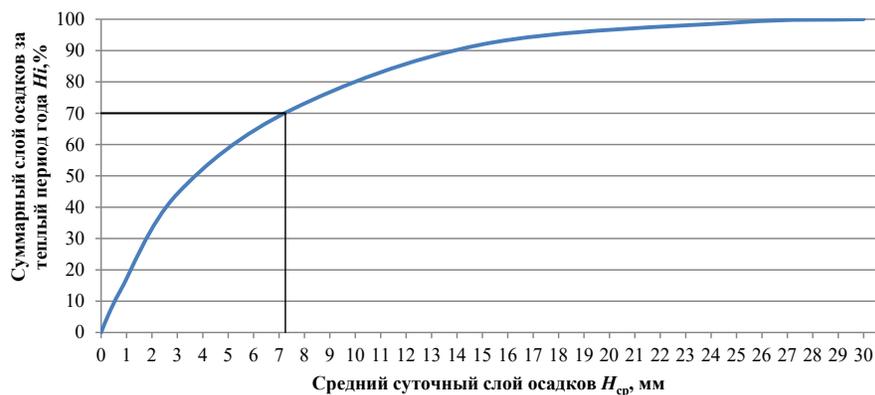


Рис. 5. Распределение суточных слоев дождевых осадков за теплый период
 Источник: выполнил И.С. Щукин

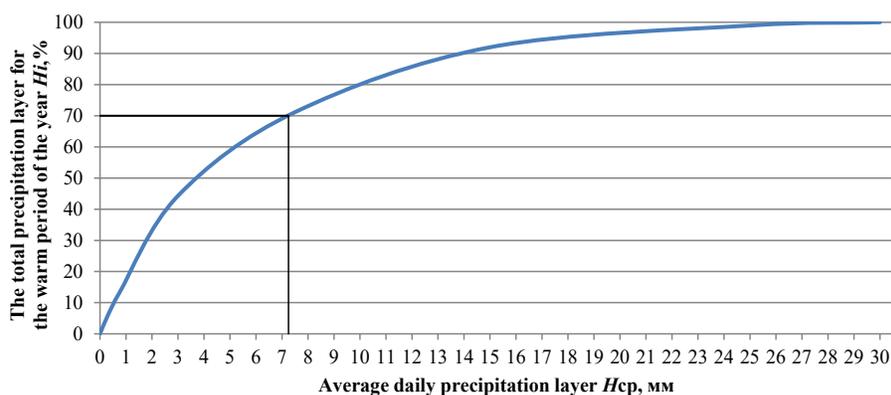


Fig. 5. Distribution of daily rainfall layers for the warm period
 Source: created by I.S. Shchukin

При анализе водосборной поверхности различных функциональных зон дополнительно были определены площади озеленения, кровель, непроницаемых и проницаемых покрытий на основе оцифрованного генерального плана концепции территории. Открытые поверхности (озеленение) составляют 42,5 % (40,37 га) от площади без учета автомобильных дорог. Данный тип поверхностей включает в себя не только парки, но и внутри- и межквартальное озеленение. Доля пешеходных асфальтированных тротуаров и площадок составляет 12,1 %, а водопроницаемых покрытий (включая плитку, песок и набивные типы покрытий) — 25,6 %, кровли зданий и сооружений — 19,8 %. Таким образом, территория жилого комплекса обладает достаточно высоким уровнем запечатанности в сравнении с дистанционными исследованиями на уровне города [16], однако, если рассматривать Южный и Центральный административные округа, где значения запечатанности свыше 60 % (по данным OSM), а также учитывать высокую долю водопроницаемых покрытий объекта исследования, то территория проектирования имеет благоприятные исходные условия фильтрации поверхностного стока без учета данных о ливневой системе.

С учетом типов и площадей поверхности на основе табличных значений СП 32.13330.2018¹¹ были также вычислены средневзвешенные значения коэффициентов стока и покрова для каждой функциональной зоны и объекта в целом (табл. 2).

Таблица 2

Параметры водосборной площади различных функциональных зон

Функциональная зона	Площадь водосборных поверхностей, га					Коэффициент стока Ψ_{mid}	Коэффициент покрова Z_{mid} при $P = 1$ год
	$F_{общ}$	Озеленение	Кровли	Непроницаемые покрытия	Проницаемые покрытия		
Дворовые территории	41,81	10,73	12,35	7,29	11,44	0,64	0,198
Общественно-деловая зона	12,99	4,72	3,24	1,38	3,66	0,54	0,173
Зеленые насаждения (парки)	27,44	19,67	0,74	0,15	6,88	0,25	0,092
Образовательные учреждения	12,74	5,25	2,49	2,67	2,34	0,54	0,166
Итого	94,98	40,37	18,82	11,49	24,32	Средневзв. 0,37	Средневзв. 0,160

Table 2

Parameters of the catchment area of various functional zones

Functional areas	Catchment area, Ha					Drain coefficient Ψ_{mid}	The coefficient of protection Z_{mid} $P = 1$
	F_{total}	Green zones	Roofs	Impermeable coatings	Permeable coatings		
Yard territory	41.81	10.73	12.35	7.29	11.44	0.64	0.198
Public and business area	12.99	4.72	3.24	1.38	3.66	0.54	0.173
Green spaces (parks)	27.44	19.67	0.74	0.15	6.88	0.25	0.092
Educational institutions	12.74	5.25	2.49	2.67	2.34	0.54	0.166
Total area	94.98	40.37	18.82	11.49	24.32	Weighted average 0.37	Weighted average 0.160

Расчеты снижения расходов при устройстве дождевых садов показали, что площадь дождевых садов, определенная для приема поверхностного стока от осадков со слоем 7,24 мм, который обеспечивает 70 % годового объема поверхностного стока, составляет 0,6...1,5 % площади водосборной территории для различных функциональных зон. При этом данной площади дождевых садов недостаточно для снижения пиковых расходов от расчетных дождей с периодом однократного превышения $P = 1$ год. В случае с пиковыми расходами площади дождевых садов

увеличиваются с 2,5 до 6,4 % от общей площади водосбора. Полученные результаты на полностью совпадают с рекомендациями, разработанными для разных штатов США, где площадь дождевых садов рекомендуют принимать за 5...8 % от доли запечатанных покрытий. Так в случае с приемом дождя 7,24 мм ($P = 0,1$) площади дождевых садов для всех зон, за исключением парков, варьируют в диапазоне 3,2...3,7 % от доли запечатанных покрытий, а в случае с расчетами для дождей $P = 1$ — от 13,2 до 15,3 %¹⁵. Однако, при таком сравнении следует принимать во внимание климатические различия, сказывающихся на объеме дождевых осадков.

Таблица 3

Расчеты снижения расходов при устройстве дождевых садов для объекта исследования

Характеристика расчета	Дворовые территории	Общественно-деловая зона	Зеленые насаждения	Образовательные и дошкольные учреждения	Дворовые территории	Общественно-деловая зона	Зеленые насаждения	Образовательные учреждения
	Дождь $P = 0,1$ год				Дождь $P = 1$ год			
Расчетный объем стока с территории, м ³	1928,2	511,0	503,5	494,5	7978,8	2114,6	2083,3	2046,1
Общая площадь дождевых садов $S_{дс}$, м ²	6427,3	1703,4	1678,2	1648,2	26595	7048,6	6944,2	6820,2
$S_{дс}/S_{вдсбр}$, %	1,5	1,3	0,6	1,3	6,4	5,4	2,5	5,4
$Z_{гид}$	0,201	0,176	0,094	0,169	0,213	0,185	0,098	0,178
$S_{вдсбр}$ на типовой ДС, м ²	1951,6	2288,2	4906,1	2318,3	471,6	553,0	1185,6	560,3
Длина водосборных лотков $l_{кан}$, м	62,3	67,4	98,8	67,9	30,6	33,2	48,6	33,4
Время добегаания t , при скорости $V = 0,7$ м/с	3,9	4,0	5,0	4,0	2,9	3,0	3,5	3,0
Расчетный расход Q_r , л/с, при $P = 1$ год	40,2	39,9	39,0	38,8	12,0	12,0	12,4	11,7
Расход фильтрата ДС $Q_{др}$, л/с	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Время наполнения ДС $t_{зап}$, мин	3,1	2,8	1,7	3,2	769,8	705,6	424,3	781,0
Расход перелива ДС $Q_{пер}$, л/с	47,2	51,8	88,6	46,5	0,2	0,2	0,3	0,2
Суммарный расход после ДС $Q_{дс} = Q_{пер} + Q_{др}$, л/с	49,7	54,3	91,1	49,0	2,7	2,7	2,8	2,7
Сокращение расчетного расходов* $Q_{пер}$, %	0	0	0	0	77,7	77,6	77,1	77,1

Примечание. *В случае, если расчетное время заполнения дождевого сада меньше времени добегаания поверхностного стока, расчетный расход определяется для времени добегаания поверхностного стока до расчетного участка (дождевого сада).

¹⁵ West Virginia Stormwater Management and Design Guidance Manual / ed. Wilkins S. 2012. URL: <http://www.dep.wv.gov/WWE/Programs/stormwater/MS4/Pages/default.aspx> Accessed: 26.11.2023.

Estimates of cost reductions for rain gardens for the study site

Calculation characteristic	Yard territories	Public and business area	Green spaces	Educational and preschool institutions	Yard territories	Public and business area	Green spaces	Educational institutions
	Rain $P = 0.1$ year				Rain $P = 1$ year			
Estimated volume of runoff from the territory, m^3	1928.2	511.0	503.5	494.5	7978.8	2114.6	2083.3	2046.1
The total area of rain gardens	6427.3	1703.4	1678.2	1648.2	26595	7048.6	6944.2	6820.2
$S_{rg}/S_{catch.area}$, %	1.5	1.3	0.6	1.3	6.4	5.4	2.5	5.4
Z_{mid}	0.201	0.176	0.094	0.169	0.213	0.185	0.098	0.178
$S_{catch.area}$ on a typical RG, m^2	1951.6	2288.2	4906.1	2318.3	471.6	553.0	1185.6	560.3
Length of catchment trays l_{can} , m	62.3	67.4	98.8	67.9	30.6	33.2	48.6	33.4
Running time t_r at speed $V = 0.7$ m/s	3.9	4.0	5.0	4.0	2.9	3.0	3.5	3.0
Estimated consumption Q_r , L/s, at $P = 1$ year	40.2	39.9	39.0	38.8	12.0	12.0	12.4	11.7
The consumption of the RG filtrate Q_{dr} , L/s	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Filling time of the RG t_{fil} , min	3.1	2.8	1.7	3.2	769.8	705.6	424.3	781.0
RG overflow flow rate Q_{ov} , L/s	47.2	51.8	88.6	46.5	0.2	0.2	0.3	0.2
Total consumption after RG $Q_{RG} = Q_{ov} + Q_{dr}$, L/s	49.7	54.3	91.1	49.0	2.7	2.7	2.8	2.7
Reduction of estimated expenses* Q_{ov} , %	0	0	0	0	77.7	77.6	77.1	77.1

Note. *If the estimated time for filling the rain garden is less than the time it takes for the surface runoff to reach, the estimated flow rate is determined for the time it takes for the surface runoff to reach the calculated area (rain garden).

На заключительном этапе анализа был выполнен расчет снижения пиковых расходов при отношении площадей дождевых садов к площади водосбора в диапазоне 1,5...5,0 %. Расчеты показали, что для функциональных зон с преобладанием непроницаемых и слабопроницаемых покрытий при увеличении площади дождевых садов от 1,5 до 5 % от водосборной территории наблюдается снижение расчетных расходов поверхностного стока от 0 до 78 %. При этом наибольшее снижение расходов поверхностного стока наблюдается при увеличении площади дождевых садов с 1,5 до 3 % от площади водосбора, а дальнейшее увеличение дает незначительный прирост к эффекту (рис. 6).

Для зоны зеленых насаждений с преобладанием проницаемых покрытий размер дождевых садов более 2 % от площади водосбора является избыточным и приводит к снижению величины относительного сокращения расходов стока. Это обусловлено увеличением времени заполнения «чаши» и снижением расхода перелива практически до нуля по мере снижения площади водосбора, приходящейся на дождевой сад. При этом максимальный расход фильтрата, определяемый абсолютной площадью дождевого сада и пропускной способностью фильтрующей

загрузки, остается неизменным и обеспечивает основной вклад в величину расчетного расхода стока после регулирования. Полученные результаты по оптимальным расчетным площадям дождевых садов соответствуют диапазону рекомендуемой доли дождевых садов в Северном климате, которая по оценке шведских экспертов соответствует от 1 до 5 %¹⁶.

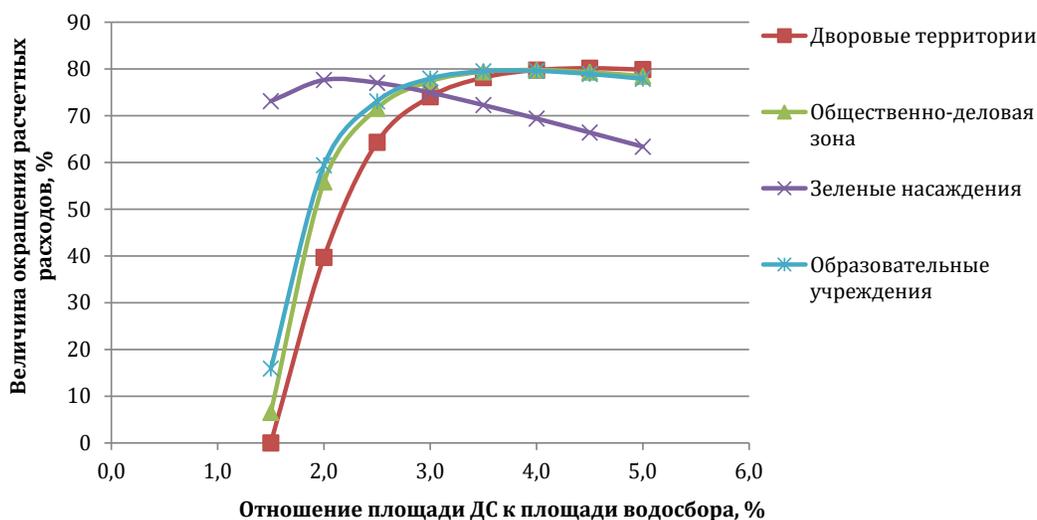


Рис. 6. Снижение пиковых расходов ливневых вод для различных функциональных зон на объекте исследования

Источник: выполнил И.С. Щукин

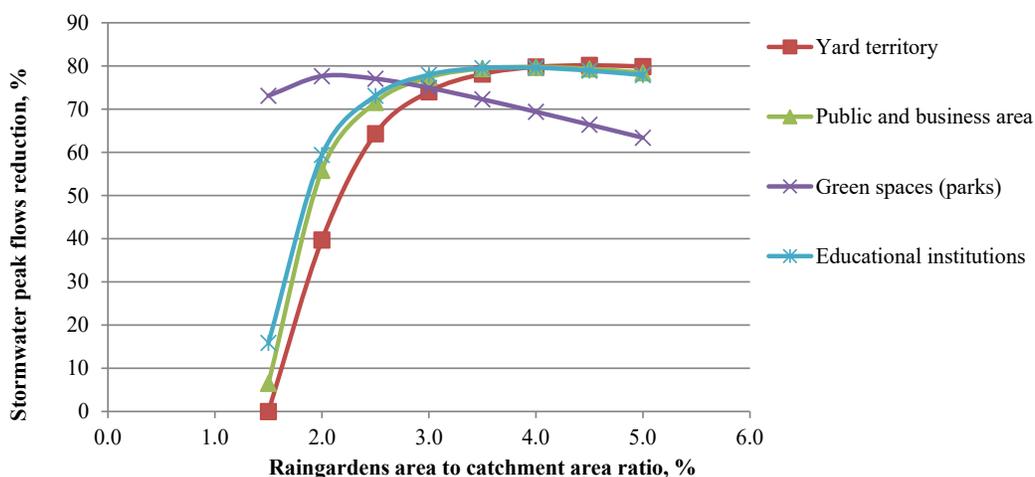


Fig. 6. Stormwater peak flows reduction for various functional areas at the study site

Source: created by I.S. Shchukin

¹⁶ Raingardens for stormwater management – potential of raingardens in a Nordic climate / eds. T. Robinson, H. Schulte-Herbrüggen, J. Mácsik, J. Andersson. 2019. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1370826/FULLTEXT01.pdf> Accessed: 26.11.2023.

Заключение

Объекты водно-зеленой инфраструктуры играют значимую роль в повышении комфортности жителей города. В нашей работе были использованы методы пространственного анализа и расчетные алгоритмы для оценки эффективности применения дождевых садов в целях снижения поверхностного стока в проектируемом жилищном комплексе Москвы.

Пространственный анализ позволил выявить зоны с неблагоприятным уклоном для поверхностного стока (21,6 % площади), где есть риски образования луж, застоя поверхностного стока и заболачивания участков озеленения. Вместе с тем оценка типов водосборов показала, что около 50 % открытых типов поверхности, включая как парки, так и внутри- и межквартальное озеленение, имеют высокий потенциал для применения дождевых садов в качестве инструмента по снижению подтопления.

Расчетная часть работы показала, что наибольшее снижение расходов поверхностного стока наблюдается при увеличении площади дождевых садов с 1,5 до 3 % от площади водосбора для дворовых, общественно-деловых и образовательных зон. А в зоне озеленения нецелесообразно размещение дождевых садов на площади свыше 2 % от общей площади водосбора.

Подобная комбинация пространственных и расчетных методов моделирования позволит оптимизировать проектирование локальных водно-зеленых решений, с одной стороны, подбирая наилучшие зоны размещения, с другой стороны, позволяя избежать «перерасхода» площадей водно-зеленых решений. Важно отметить, что стоит избегать не только недостаточной, но и избыточной площади дождевых садов, так как последнее может привести к пересыханию или потере функциональности пространства.

Список литературы

1. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / eds. Pörtner H.-O., Roberts D., Tignor M., Poloczanska E., Mintenbeck K., Alegría A., Craig M., Langsdorf S., Lösschke S., Möller V., Okem A., Rama-Phd B., Belling D., Dieck W., Götze S., Kersher T., Mangele P., Maus B., Mühle A., & Weyer N. 2022. doi: 10.1017/9781009325844
2. The Sustainable Development Goals and COVID-19. Sustainable Development Report 2020 / eds. Sachs J., Schmidt-Traub G., Kroll C., Lafortune G., Fuller G., Woelm F. Cambridge: Cambridge University Press, 2020.
3. The Decade of Action for the Sustainable Development Goals: Sustainable Development Report 2021 / eds. Sachs J., Kroll C., Lafortune G., Fuller G., Woelm F. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
4. Соколов Ю.И. Риски экстремальных погодных явлений // Проблемы анализа риска. 2018. № 15 (3). С. 6–21. doi: 10.32686/1812–5220–2018–15–3–6–21
5. Maniquiz-Redillas M.C., Kim L.H. Evaluation of the capability of low-impact development practices for the removal of heavy metal from urban stormwater runoff // Environmental technology. 2016. № 37 (18). P. 2265–2272. doi: 10.1080/09593330.2016.1147610
6. Johansson G., Fedje K.K., Modin O., Haeger-Eugensson M., Uhl W., Andersson-Sköld Y., Strömvall A.-M. Removal and release of microplastics and other environmental pollutants during the start-up of bioretention filters treating stormwater // Journal of Hazardous Materials. 2024. № 468. P. 133532. doi: 10.1016/j.jhazmat.2024.133532
7. Чечевичкин В.Н., Ватин Н.И. Особенности состава и очистки поверхностного стока крупных городов // Инженерно-строительный журнал. 2014. Т. 50. № 6. С. 67–74.

8. Nikolaeva O., Rozanova M., Karpukhin M. Distribution of traffic-related contaminants in urban topsoils across a highway in Moscow // *Journal of Soils and Sediments*. 2017. Vol. 17. № 4. P. 1045–1053. doi: 10.1007/s11368-016-1587-y
9. Romzaykina O.N., Vasenev V.I., Paltseva A., Kuzyakov Y.V., Neaman A., Dovletyarova E.A. Assessing and mapping urban soils as geochemical barriers for contamination by heavy metal(loid)s in Moscow megapolis // *J. Environ. Qual.* 2021. Vol. 50. P. 22–37. doi: 10.1002/jeq2.20142
10. Алексеев М.И., Шурмин Ю.Л. Динамика и прогноз водопотребления и водоотведения субъектов РФ // *Труды ВГИ*. 2010. № 2 (23). С. 139–143.
11. Рабинский М.А., Душко А.О., Мирончик Г.М., Жиров Е.Н. Очистка хозяйственно-бытовых и дождевых сточных вод в Российской Федерации: проблемы и пути решения // *Инженерные системы*. 2012. № 2. С. 16–20.
12. Касаткин А.В. Разработка метода очистки поверхностного стока с проезжей части автомобильных дорог: дис. ... канд. тех. наук. М., 2006.
13. Osheen M., Singh K.K. Rain Garden — A Solution to Urban Flooding: A Review // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2019. Vol. 30. P. 27–35. doi: 10.1007/978-981-13-6717-5_4
14. Davis A.P., Hunt W.F., Traver R.G., Clar M.L. Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs // *Journal of Environmental Engineering*. 2009. № 135. P. 109–117.
15. Низовцев В.А., Кочуров Б.И., Эрман Н.М., Мироненко И.В., Логунова Ю.В., Костовска С.К., Ивашкина И.В., Родина В.О. Ландшафтно-экологические исследования Москвы для обоснования территориального планирования города: монография. М.: Прометей, 2020. 342 с.
16. Dvornikov Y.A., Grigorieva V.E., Varentsov M.I., Vasenev V.I. Optimal spectral index and threshold applied to Sentinel-2 data for extracting impervious surface: Verification across latitudes, growing seasons, approaches, and comparison to global datasets // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2023. № 123. 103470. doi: 10.1016/j.jag.2023.103470

References

1. Pörtner HO, Roberts D, Tignor M, Poloczanska E, Mintenbeck K, Alegría A, et al. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2022. doi: 10.1017/9781009325844
2. Sachs J, Schmidt-Traub G, Kroll C, Lafortune G, Fuller G, Woelm F. (eds.) *The Sustainable Development Goals and COVID-19. Sustainable Development Report 2020*. Cambridge: Cambridge University Press; 2020.
3. Sachs J, Kroll C, Lafortune G, Fuller G, Woelm F. (eds.) *The Decade of Action for the Sustainable Development Goals: Sustainable Development Report 2021*. Cambridge: Cambridge University Press; 2021.
4. Sokolov YI. Risks of extreme weather events. *Issues of Risk Analysis*. 2018;15(3):6–21. (In Russ.). doi: 10.32686/1812-5220-2018-15-3-6-21
5. Maniquiz-Redillas MC, Kim LH. Evaluation of the capability of low-impact development practices for the removal of heavy metal from urban stormwater runoff. *Environmental technology*. 2016;37(18):2265–2272. doi: 10.1080/09593330.2016.1147610
6. Johansson G, Fedje KK, Modin O, Haeger-Eugensson M, Uhl W, Andersson-Sköld Y, et al. Removal and release of microplastics and other environmental pollutants during the start-up of bioretention filters treating stormwater. *Journal of Hazardous Materials*. 2024;468:133532. doi: 10.1016/j.jhazmat.2024.133532
7. Chechevichkin VN, Vatin NI. Specifics of surface runoff contents and treatment in large cities. *Magazine of Civil Engineering*. 2014;(6):67–74. (In Russ.). doi: 10.5862/MCE.50.7
8. Nikolaeva O, Rozanova M, Karpukhin M. Distribution of traffic-related contaminants in urban topsoils across a highway in Moscow. *Journal of Soils and Sediments*. 2017;17:1045–1053. doi: 10.1007/s11368-016-1587-y
9. Romzaykina ON, Vasenev VI, Paltseva A, Kuzyakov YV, Neaman A, Dovletyarova EA. Assessing and mapping urban soils as geochemical barriers for contamination by heavy metal(loid)s in Moscow megapolis. *J Environ Qual*. 2021;50(1):22–37. doi: 10.1002/jeq2.20142
10. Alekseev MI, Shurmin YL. Dynamics and forecast of water consumption and water removal in subjects of the Russian Federation. *Bulletin of Civil Engineers*. 2010;(2):139–143. (In Russ.).
11. Rabinsky MA, Dushko AO, Mironchik GM, Zhiron EN. Treatment of domestic and rainwater in the Russian Federation: problems and solutions. *Inzhenernye sistemy*. 2012;(2):16–20. (In Russ.).
12. Kasatkin AV. *Razrabotka metoda ochistki poverkhnostnogo stoka s proezzhei chasti avtomobil'nykh dorog* [Development of a method for cleaning the surface runoff from the roadway of highways]. Moscow; 2006. (In Russ.).

13. Osheen M, Singh KK. Rain Garden — A Solution to Urban Flooding: A Review. In: Agnihotri A, Reddy K., Bansal, A. (eds.) *Sustainable Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 30*. Singapore: Springer, 2019. p.27–35. doi: 10.1007/978–981–13–6717–5_4

14. Davis AP, Hunt WF, Traver RG, Clar ML. Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs. *Journal of Environmental Engineering*. 2009;135(3):109–117. doi: 10.1061/(ASCE)0733–9372(2009)135:3(109)

15. Nizovtsev VA, Kochurov BI, Erman NM, Mironenko IV, Logunova YV, Kostovska SK, et al. *Landshaftno-ekologicheskie issledovaniya Moskvy dlya obosnovaniya territorial'nogo planirovaniya goroda* [Landscape-ecological studies of Moscow to substantiate the territorial planning of the city]. Moscow: Prometheus publ.; 2020. (In Russ.).

16. Dvornikov YA, Grigorieva VE, Varentsov MI, Vasenev VI. Optimal spectral index and threshold applied to Sentinel-2 data for extracting impervious surface: Verification across latitudes, growing seasons, approaches, and comparison to global datasets. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2023;(123):103470. doi: 10.1016/j.jag.2023.103470

Об авторах:

Ромзайкина Ольга Николаевна — кандидат биологических наук, младший научный сотрудник научного центра «Смарт технологии устойчивого развития городской среды в условиях глобальных изменений», Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2; e-mail: romzaykina-on@rudn.ru

ORCID: 0000–0002–8516–2724 SPIN-код: 7679–7207

Бубушян Алина Александровна — ландшафтный архитектор, Ассоциация Гильдия ландшафтных инженеров, Российская Федерация, 127018, г. Москва, ул. Складочная, д. 3, стр. 5, оф. 204; e-mail: info@laenguild.org

Щукин Игорь Сергеевич — кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Российская Федерация, 614010, Пермь, ул. Куйбышева, д. 109; e-mail: shchukin-is@yandex.ru
ORCID: 0009–0009–0655–9757 SPIN-код: 5096–4351

Васенев Вячеслав Иванович — кандидат биологических наук, PhD, доцент департамента ландшафтного проектирования и устойчивых экосистем, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2; e-mail: vasenev_vi@pfur.ru

ORCID: 0000–0003–0286–3021 SPIN-код: 7209–1269

About authors:

Romzaykina Olga Nikolaevna — Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher, Research center “Smart technologies for sustainable development of the urban environment in the global change”, RUDN University, 8 Miklukho-Maklaya st., bldg. 2, Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: romzaykina-on@rudn.ru

ORCID: 0000–0002–8516–2724 SPIN-code: 7679–7207

Bubushyan Alina Aleksandrovna — Landscape Architect, NCO Association Landscape Engineers Guild, 3 Skladochnaya st., bldg. 5, Moscow, 127018, Russian Federation; e-mail: info@laenguild.org

Shchukin Igor Sergeevich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Water Supply and sewerage, Perm National Research Polytechnic University, 109 Kuybysheva st., Perm, 614010, Russian Federation; e-mail: shchukin-is@yandex.ru

ORCID: 0009–0009–0655–9757 SPIN-code: 5096–4351

Vasenev Vyacheslav Ivanovich — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Landscape Design and Sustainable Ecosystems, RUDN University, 8 Miklukho-Maklaya st., bldg. 2, Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: vasenev_vi@pfur.ru

ORCID: 0000–0003–0286–3021 SPIN-code: 7209–1269



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-302-313

EDN: JAKGBS

УДК 581.524.2–271.171 (470.54–25)

Научная статья / Research article

Особенности внедрения *Acer negundo* L. в лесные парки г. Екатеринбурга

Е.А. Тишкина^{1,2}  , Л.А. Семкина¹ , И.В. Шевелина²¹Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург,
Российская Федерация²Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург,
Российская Федерация Elena.MLOB1@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены распространение и особенности приуроченности клена ясенелистного *Acer negundo* L. в лесные парки г. Екатеринбург. Исследования проведены в одиннадцати лесных парках г. Екатеринбурга: Калиновском, Карасье-Озерском, Санаторном, Мало-Истокском, Центральном, Шарташском, Юго-западном, Шувакишском, им. Лесоводов России, Нижне-Исетском, Южном — на площади 10196 га на основе электронной базы данных «АРМ Лесфонд», которая создана путем совмещения картографических материалов и таксационных описаний насаждений. Проанализированы санитарно-гигиенические, ландшафтно-эстетические характеристики, класс устойчивости, проходимость и просматриваемость. Впервые изучены особенности внедрения *Acer negundo* L. в лесных парках г. Екатеринбурга. Наибольшая численность его отмечена в пяти парках: им. Лесоводов России, Карасье-Озерском, Шувакишском, Юго-Западном и Центральном, вблизи которых сосредоточены посадки клена. Наибольшее проникновение клена выявлено в Малоистокском лесопарке, где он занимает около 97 % от общей площади, что связано с наличием поблизости плодоносящих особей. Вдали от городских посадок клена ясенелистного в крупных лесопарках он занимает площадь всего от 0,26 до 1,56 %. Выявлена эколого-ценотическая приуроченность внедрения *Acer negundo* L. в зависимости от типа леса, возраста насаждения и полноты древостоя. Максимальная встречаемость клена установлена в сосновых насаждениях — 79,1 %, что можно считать его экологическим оптимумом, минимальная — в насаждениях с тополем бальзамическим — 11,5 % и березой повислой — 6,1 %. иВ молодняках он занимает площадь 1,8 %, в средневозрастных насаждениях — 16,9 %, в высокобонитетных — 76,8 %. Данные исследования представляют научный интерес при мониторинге за распространением натурализовавшегося вида и получения достоверных сведений о его фитоценотической приуроченности в новом сообществе.

© Тишкина Е.А., Семкина Л.А., Шевелина И.В., 2024

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

Ключевые слова: клен ясенелистный, городские леса, тип леса, полнота древостоя, класс бонитета, группы возраста

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

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

История статьи: поступила в редакцию 16 октября 2023 г., принята к публикации 29 января 2024 г.

Для цитирования: Тишкина Е.А., Семкина Л.А., Шевелина И.В. Особенности внедрения *Acer negundo* L. в лесные парки г. Екатеринбурга // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 302—313. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-302-313

Features of *Acer negundo* L. distribution in forest parks of Ekaterinburg

Elena A. Tishkina^{1,2}  , Lidiya A. Semkina¹ , Irina V. Shevelina²

¹Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Ural Branch, Ekaterinburg, Russian Federation

²The Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation

 Elena.MLOB1@yandex.ru

Abstract. The study considers the distribution and features of ecological and biological confinement of *Acer negundo* L. to the forest parks of Ekaterinburg. The research was carried out in eleven forest parks of Yekaterinburg: Kalinovskiy, Karasye-Ozerskiy, Sanatorniy, Malo-Istokskiy, Tsentralniy, Shartashskiy, Yugo-Zapadnyy, Shuvakishskiy, Im. Lesovodov Rossii, Nizhne-Isetskoy, Yuzhnyy — on an area of 10,196 hectares based on the electronic database “ARM Lesfond”, which was created by combining cartographic materials and taxational descriptions of plantings. Sanitary-hygienic, landscape-aesthetic characteristics, stability class, passability and visibility were analyzed. The features of *Acer negundo* L. introduction in the forest parks of Yekaterinburg were studied for the first time. The largest number of the trees was noted in five forest parks: Im. Lesovodov Rossii, Karasye-Ozerskiy, Shuvakishskiy, Yugo-Zapadnyy and Tsentralniy where maple plantings were concentrated. The greatest expansion of maple was noted in Maloistokskiy forest park, where it covers about 97% of the total area, which is associated with the presence of fruit-bearing individuals nearby. Far from urban plantings of ash-leaved maple in large forest parks, it covers an area ranging from only 0.26 to 1.56%. The ecological and coenotic confinement of *Acer negundo* L. introduction depending on forest type, age of planting and stand density was revealed. The maximum occurrence of maple was established in pine plantations — 79.1%, and this can be considered its ecological optimum, while the minimum — in plantations with balsam poplar — 11.5% and silver birch — 6.1%. Maple habitats depend on the age categories of plantings. In young stands, it covers an area of 1.8%, in middle-aged trees — 16.9%, in high-bonitat plantings — 76.8%. These studies are of scientific interest when monitoring the spread of a naturalized species and obtaining reliable information about its phytocenotic confinement in a new community.

Key words: ash-leaved maple, urban forests, forest type, stand density, quality class, age groups

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Article history: Received: 16 October 2023. Accepted: 29 January 2024.

Funding. This work was carried out within the framework of the state assignment of the botanical garden of the ural branch of the russian academy of sciences.

For citation: Tishkina EA, Semkina LA, Shevelina IV. Features of *Acer negundo* L. distribution in forest parks of Ekaterinburg. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):302—313. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-302-313

Введение

Инвазия агрессивных чужеродных видов — одно из глобальных природных изменений и часто приводит к существенным потерям биологического разнообразия [1–3]. Угроза разнообразию аборигенных сообществ связана с растениями-трансформерами, которые могут менять нормальное протекание сукцессий [4]. Известны исследования о специфических эффектах растений-трансформеров на аборигенные виды [5–8], растительные сообщества [9] и возможности их объяснения только фитоценоотическими механизмами [10, 11]. Благодаря биологическим особенностям клена ясенелистного *Acer negundo* L. является одним из самых агрессивных инвазионных древесных видов [12–26]. Поэтому изучение процессов, происходящих в лесопарковой зоне Екатеринбурга при внедрении в них клена ясенелистного, представляется весьма актуальным.

Цель исследования — анализ распространения, эколого-биологических особенностей приуроченности *Acer negundo* L. в лесных парках г. Екатеринбурга.

Материалы и методы исследования

Екатеринбург — крупный промышленный и административный центр на Среднем Урале (56°59'00"N 60°35'00"E) с населением 1,5 млн человек, в котором городские леса, в т.ч. и лесные парки, занимают почти треть (15,3 тыс. га) площади [27]. Исследования проведены в одиннадцати лесных парках г. Екатеринбург: Калиновском, Карасье-Озерском, Санаторном, Мало-Истокском, Центральном, Шарташском, Юго-западном, Шувакишском, им. Лесоводов России, Нижне-Исетском, Южном на площади 10196 га на основе базы данных «АРМ Лесфонд». База данных создана путем совмещения картографических материалов и таксационных описаний насаждений лесных парков. Для каждого ландшафтного участка у насаждений были проанализированы лесоводственно-таксационные, санитарно-гигиенические, ландшафтно-эстетические характеристики, класс устойчивости, проходимость и просматриваемость.

Результаты исследования и обсуждение

Подлесок лесных парков Екатеринбурга сильно изменен по видовому составу. Большинство адвентивных древесных видов используются в озеленении [28] и высажены в лесных парках в 1970–1980-х гг. [29]. Большой ошибкой оказалось введение интродуцированных растений, что позволило интенсивному проникновению клена ясенелистного в лесные парки, где он занимает определенные экологические ниши, вытесняя при этом коренные виды, трансформируя экосистему. Он произрастает на площади 228 га на территории 11 из 15 лесных парков (рис. 1). Несмотря на различную площадь (от 5,7 до 41,9 га) внедрение клена протекает по нашим расчетам с различной степенью интенсивности. Так, например, в Мало-Истокском

лесном парке клен занимает 96,36 % от общей площади, в то время как в самых больших по площади лесных парках города таких, как Южный, Шувакишский и Нижне-Исетский он проник незначительно от 0,26 до 1,56 %.

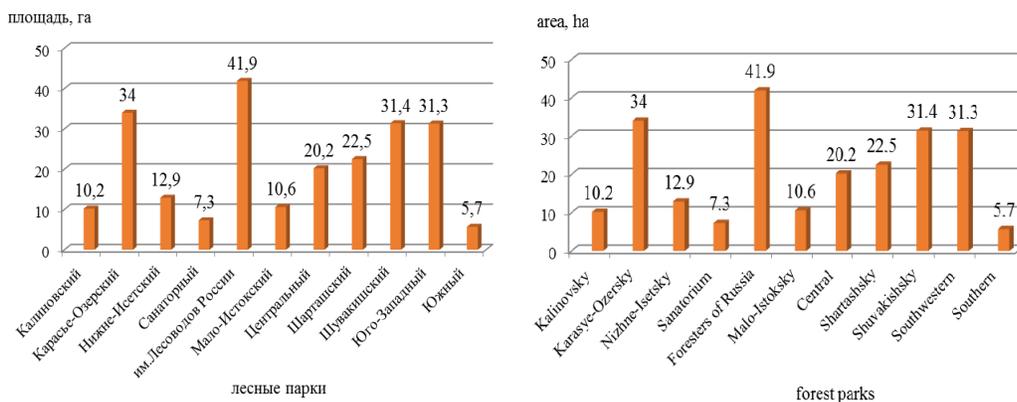


Рис. 1. Площадь, занимаемая *Acer negundo* в лесных парках
 Источник: выполнила Е.А. Тишкина с помощью Microsoft Office Excel
Fig. 1. Areas of *Acer negundo* stands in forest parks of Ekaterinburg
 Source: created by E.A. Tishkina using Microsoft Office Excel

Инвазия клена, как правило, происходит вначале с открытых пространств (опушки леса, вдоль пешеходных дорожек и т. д.), постепенно внедряясь вглубь лесопарков. В результате обследования зафиксированы единичные генеративные особи клена на открытых участках и обильный самосев.

Клен встречается практически на любой территории, но, чаще всего предпочитает определенные типы леса: встречаемость в сосняках разнотравных — 66,1 % и сосняках ягодниковых — 28,8 %, в других типах леса (сосняках орляковых, осоко-сфагновых и березняках осоко-сфагновых) встречается в незначительных количествах от 0,1 до 7,4 % (табл. 1).

Таблица 1

Площадь с участием *Acer negundo* L. в различных типах леса

Лесные парки	Типы леса													
	СРТП		СЯГ		СОРЛ		ЕСЗЯГ		СБР		БОССФ		СОССФ	
	Площади													
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
Калиновский	0,2	1,96	10	98,04	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Карась-Озерский	34	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Нижне-Исетский	7,1	55,04	2,8	21,7	3	23,26	–	–	–	–	–	–	–	–
Санаторный	7,3	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Им. Лесоводов России	37	88,94	–	–	4,4	10,58	0,2	0,48	–	–	–	–	–	–

Окончание табл. 1

Лесные парки	Типы леса													
	СРТР		СЯГ		СОРЛ		ЕСЗЯГ		СБР		БОССФ		СОССФ	
	Площади													
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
Мало-Истокский	10,6	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Центральный	20,2	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Шарташский	10,9	48,45	11,3	50,22	–	–	–	–	0,3	1,33	–	–	–	–
Шувакишский	–	–	31,4	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Юго-Западный	17,5	55,91	10,1	32,27	–	–	–	–	–	–	1,9	6,07	1,8	5,75
Южный	5,7	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. СРТР – сосняк разнотравный; СЯГ – сосняк ягодниковый; СОРЛ – сосняк орляковый; ЕСЗЯГ – ельник-сосняк зеленомошно-ягодниковый; СБР – сосняк брусничный; БОССФ – березняк осоко-сфагновый; СОССФ – сосняк осоко-сфагновый.

Table 1

Area with *Acer negundo* L. in different forest types

Forest parks	Forest types													
	SRTR		SYAG		SORL		ESZYAG		SBR		BOSSF		SOSSF	
	Area													
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Kalinovsky	0.2	1.96	10	98.04	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Karasye-Ozersky	34	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Nizhne-Isetsky	7.1	55.04	2.8	21.7	3	23.26	–	–	–	–	–	–	–	–
Sanatorny	7.3	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Im. Lesovodov Rossii	37	88.94	–	–	4.4	10.58	0.2	0.48	–	–	–	–	–	–
Malo-Istoksky	10.6	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Tsentralny	20.2	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Shartashsky	10.9	48.45	11.3	50.22	–	–	–	–	0.3	1.33	–	–	–	–
Shuvakishsky	–	–	31.4	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Yugo-Zapadny	17.5	55.91	10.1	32.27	–	–	–	–	–	–	1.9	6.07	1.8	5.75
Yuzhny	5.7	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Note. SRTR – Grass pine forest; SYAG – berry pine forest; SORL – bracken pine forest; ESZYAG – green moss-berry spruce-pine forest; SBR – lingonberry pine forest; BOSSF – sedge-sphagnum birch forest; SOSSF – sedge-sphagnum pine forest.

Приуроченность клена к соснякам разнотравным от 48,4 до 100 % площади, покрытой лесной растительностью (за исключением Шувакишского и Калиновского лесных парков), позволяет считать экологическим оптимумом для его существования, так как там складываются наиболее благоприятные условия для прорастания семян (незначительное затенение и сохранения водного баланса). Под пологом сосны обыкновенной встречаемость клена составляет 79,1 %, с тополем бальзамическим — 11,5 %, березой повислой — 6,1 %. *Acer negundo* внедряется преимущественно в высокобонитетные насаждения (II класса бонитета — 62,9 %) (рис. 2) при полноте древесного полога 0,6...0,7 (табл. 2).

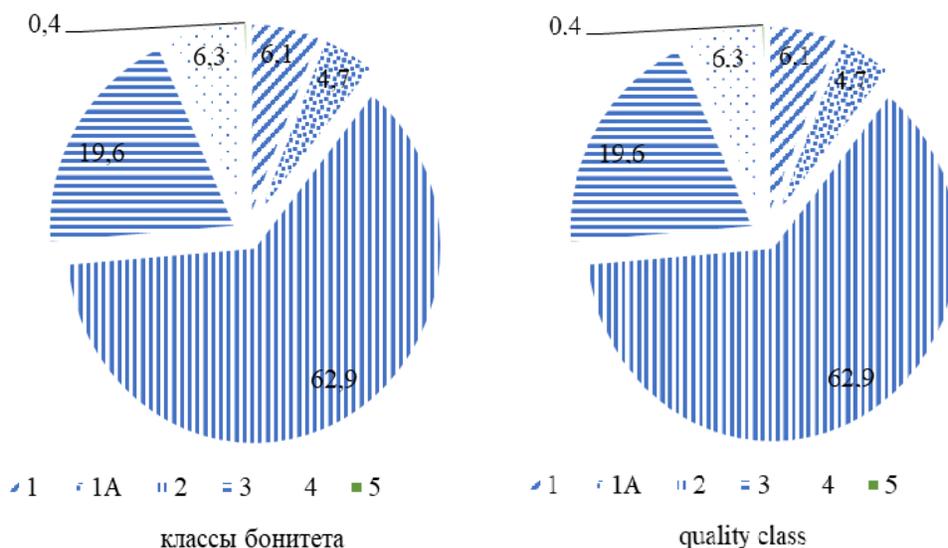


Рис. 2. Распределение площади насаждений лесных парков с участием клена ясенелистного по классам бонитета
 Источник: выполнила Е.А. Тишкина с помощью Microsoft Office Excel

Fig. 2. Distribution of forest park area with *Acer negundo* L. by quality classes
 Source: created by E.A. Tishkina using Microsoft Office Excel

Таблица 2

Зависимость распространения *Acer negundo* L. от полноты древостоя

Лесные парки	Полнота древостоя											
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
	Площадь с участием клена ясенелистного, га / %											
Калиновский	–	–	–	–	–	8,4/82,4	–	–	1,7/8	0,8/9,8	–	
Карасье-Озерский	–	–	–	1,9/5,59	–	2,3/6,76	13,7/40,29	12,6/37,06	3,3/9,71	0,2/0,59	–	
Нижне-Исетский	–	–	–	1,3/9,09	–	–	4,5/31,47	3,3/23,08	1,4/9,79	2,7/18,8	1,1/7,69	
Санаторный	–	–	–	–	–	1,2/20,34	1,6/27,12	2,4/40,68	–	–	0,7/11,86	
Им. Лесоводов России	–	–	–	0,3/0,7	–	0,2/0,5	16,5/39,4	16,5/39,4	2,4/5,7	5/11,9	1/2,4	
Мало-Истокский	–	–	–	–	–	–	10,6/100	–	–	–	–	
Центральный	–	–	–	1,3/6,44	11,4/56,43	0,5/2,47	4,7/23,7	–	2,3/11,39	–	–	
Шарташский	–	–	–	0,2/0,9	1/4,44	3,7/16,44	1/4,44	4,3/19,11	6,3/28	6/26,67	–	
Шувакишский	–	–	–	–	–	–	–	7,7/24,52	22,5/71,66	1,2/3,82	–	
Юго-Западный	–	–	–	1,9/6,07	4,3/13,74	14/44,73	4,7/15,02	4,9/15,65	1,5/4,79	–	–	
Южный	–	–	–	–	–	–	0,4/7,02	5,3/92,98	–	–	–	

Table 2

Distribution of *Acer negundo* L. depending on stand density

Forest parks	Stand density										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	Area with ash-leaved maple, hectare/%										
Kalinovsky	–	–	–	–	–	8.4/82.4	–	–	1/7.8	0.8/9.8	–
Karasye-Ozersky	–	–	–	1.9/5.59	–	2.3/6.76	13.7/40.29	12.6/37.06	3.3/9.71	0.2/0.59	–
Nizhne-Isetsky	–	–	–	1.3/9.09	–	–	4.5/31.47	3.3/23.08	1.4/9.79	2.7/18.8	1.1/7.69
Sanatory	–	–	–	–	–	1.2/20.34	1.6/27.12	2.4/40.68	–	–	0.7/11.86
Im. Lesovodov Rossii	–	–	–	0.3/0.7	–	0.2/0.5	16.5/39.4	16.5/39.4	2.4/5.7	5/11.9	1/2.4
Malo-Istoksky	–	–	–	–	–	–	10.6/100	–	–	–	–
Tsentralny	–	–	–	1.3/6.44	11.4/56.43	0.5/2.47	4.7/23.7	–	2.3/11.39	–	–
Shartashsky	–	–	–	0.2/0.9	1/4.44	3.7/16.44	1/4.44	4.3/19.11	6.3/28	6/26.67	–
Shuvakishsky	–	–	–	–	–	–	–	7.7/24.52	22.5/71.66	1.2/3.82	–
Yugo-Zapadny	–	–	–	1.9/6.07	4.3/13.74	14/44.73	4.7/15.02	4.9/15.65	1.5/4.79	–	–
Yuzhny	–	–	–	–	–	–	0.4/7.02	5.3/92.98	–	–	–

Поселение клена зависит не только от полноты древостоя, но и от различных микроусловий (от почвенных показателей, режима посещения), создаваемых в лесопарках. Так, в Карасье-Озерском и им. Лесоводов России максимальное количество клена отмечено при полноте древостоя 0,6...0,7, в Шувакишском — при 0,8, в Шарташском — при 0,8...0,9, а в Юго-Западном — при 0,5 и в Центральном — при 0,4.

Местообитания клена зависят и от возрастных категорий насаждений, так, в спелых сосновых насаждениях он составляет 76,8 %, средневозрастных — 16,9 % (рис. 3). В таких насаждениях сформирована лесная подстилка с достаточным количеством гумусовых веществ, а также при очищении стволов от вегетативных побегов создается благоприятный световой режим.

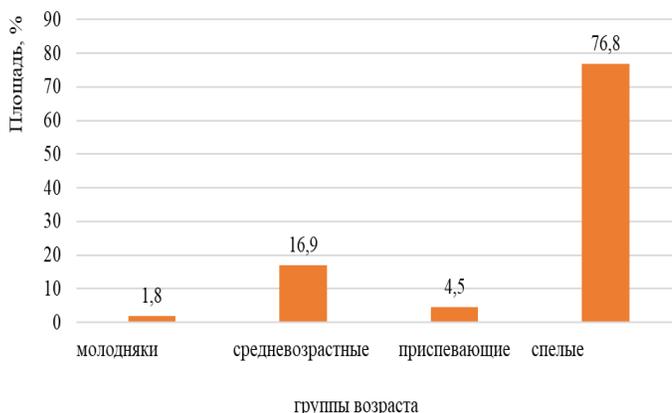


Рис. 3. Зависимость внедрения *Acer negundo* от групп возраста древостоя

Источник: выполнила Е.А. Тишкина с помощью Microsoft Office Excel

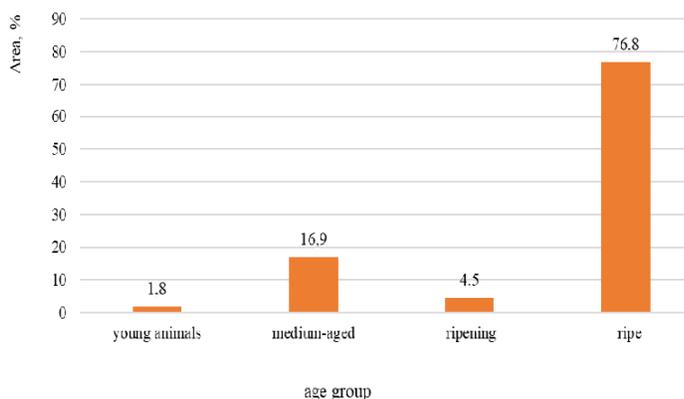


Fig. 3. Dependence of *Acer negundo* introduction on stand age groups

Source: created by E.A. Tishkina using Microsoft Office Excel

Наименьшая площадь внедрения установлена в молодняках (1,8 %) и приспевающих древостоях (4,5 %). Имея высокую теневыносливость, клен вселяется в густой подлесок (63,1 %) в ландшафтных участках со средней степенью проходимости (42,6 %) и просматриваемости (57,7 %), вытесняя при этом аборигенную флору.

Распределение площади ландшафтных участков, на которых произрастает клен в подлеске, по классам биологической устойчивости следующее: 1 — 52,2 % и 2 — 42 %. Данный факт свидетельствует тому, что насаждения способны сохранять свои свойства и качества в условиях техногенных и рекреационных воздействий.

Заключение

Клен ясенелистный является одним из самых распространенных в культуре, его можно встретить в озеленении практически повсеместно как в России, так и в других странах. В лесопарковой зоне г. Екатеринбурга *Acer negundo* L. встречается как натурализовавшийся интродуцент в различных типах насаждений.

Внедрение клена зависит прежде всего от наличия поблизости плодоносящих особей, поэтому его встречаемость в различных лесных парках отличается. В озеленении клен ясенелистный появился в начале 1960-х гг., достигнув генеративного возраста, он стал активно заселять все пространства. Но, тем не менее, состояние клена зависит от плодородных почв, благоприятного светового и водного режима.

Так, наибольшее количество особей обнаружено в спелых сосняках разнотравных, в которых создаются благоприятные условия для прорастания семян (сохранение водного баланса и защита от перегрева). Активное внедрение *Acer negundo* L. в спелые сосновые насаждения объясняется наличием богатой гумусовой лесной подстилки, а также улучшением светового режима в результате очищения стволов от вегетативных побегов и сосредотачивание кроны высоко над землей.

Инвазию клена ясенелистного как чужеродного вида в нашей зоне можно рассматривать как натурализацию интродуцированного вида. Обладая высокой нормой реакции на изменившиеся условия среды и высокой вариабильностью, а также благодаря обильному плодоношению, быстрой скорости роста, теневыносливости и образованию устойчивой корневой системы, *Acer negundo* L. расширяет свой ареал, поселяясь в различные местообитания, конкурируя с местными видами. Изученная тенденция завоевания территории видом «агрессором» сохраняется, и с уверенностью можно сказать, что эта ситуация характерна для многих регионов России, поэтому необходим мониторинг его расселения и утверждение мер борьбы.

Список литературы

1. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: ГЕОС, 2010. 503 с.
2. Куклина А.Г., Виноградова Ю.К. Фитоинвазии: опасность и экологические последствия // Наука и жизнь. 2015. № 5. С. 107–113.
3. Pimentel D., Zuniga R., Morrison D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States // Ecol. Econ. 2005. Vol. 52. № 3. P. 273–288.
4. Porte A.J., Lamarque L.J., Lortie Ch.J., Delzon S., Michalet R. Invasive *Acer negundo* Outperforms Native Species in Non-Limiting Resource Environments Due to Its Higher Phenotypic Plasticity // BMC Ecology. 2011. № 11. P. 28.
5. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Бочкин В.Д. Влияние чужеродных видов растений на динамику флоры территории Главного ботанического сада РАН // Российский журнал биологических инвазий. 2015. № 8 (4). С. 22–41.
6. Веселкин Д.В., Золотарева Н.В., Липухина Ю.А., Подгаевская Е.Н., Киселева О.А. Разнообразие растений в зарослях инвазивного *Sorbaria sorbifolia*: разный эффект для травяно-кустарничкового яруса и банка семян // Экология. 2020. № 6. С. 417–426. doi: 10.31857/S0367059720060098
7. Монтиле А.А., Тишкина Е.А. Количественная характеристика проявления признаков размера особей и диагностика состояния *Cotoneaster lucida* Schlecht. в условиях урбаносферы г. Екатеринбурга // Известия ОГАУ. 2020. № 3 (83). С. 138–145. doi: 10.37670/2073–0853–2020–83–3–138–145
8. Монтиле А.А., Тишкина Е.А. Особенности размерной структуры *Cotoneaster lucida* Schlecht. в зависимости от локализации в лесопарках Екатеринбурга // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2020. № 3 (60). С. 103–111. doi: 10.34655/bgsha.2020.60.3.016
9. Емельянов А.В., Фролова С.В. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) в прибрежных фитоценозах р. Ворона // Российский журнал биологических инвазий. 2011. Т. 4. № 2. С. 40–43.
10. Richardson D.M., Pysek P. Plant invasions: merging the concepts of species invasiveness and community invisibility // Prog Phys Geog. 2006. Vol. 30. № 3. P. 409–431.
11. Vitousek P.M., Dantonio C.M., Loope L.L., Rejmanek M., Westbrooks R.G. Introduced species: A significant component of human-caused global change // New Zeal J Ecol. 1997. Vol. 21. № 1. Pp. 1–16.
12. Veselkin D.V., Korzhinevskaya A.A., Podgaevskaya E.N. The Edge Effect on the Herb-Dwarf Shrub Layer of Urbanized Southern Taiga Forests // Russ J Ecol. 2018. Vol. 49. P. 465–474. doi: 10.1134/S1067413618060139
13. Veselkin D.V., Dubrovin D.I. Diversity of the grass layer of urbanized communities dominated by invasive *Acer negundo* // Rus. J. Ecol. 2019. Vol. 50. P. 413–421. doi: 10.1134/S1067413619050114
14. Veselkin D.V., Korzhinevskaya A.A., Ekshibarov E.D., Rafikova O.S., Kiseleva O.A. Abundance and diversity of seedlings of the soil seed bank in the monospecific stands of the invasive species *Acer negundo* L. // Russ. J. Biol. Invasions. 2018. Vol. 9. № 2. P. 108–113. doi: 10.1134/S2075111718020133
15. Веселкин Д.В., Рафикова О.С., Екшибаров Е.Д. Почва из зарослей инвазивного *Acer negundo* неблагоприятна для образования микоризы у аборигенных трав // Журнал общей биологии. 2019. Т. 80. № 3. С. 214–225. doi: 10.1134/S0044459619030084

16. Veselkin D.V., Dubrovin D.I., Pustovalova L.A. High canopy cover of invasive *Acer negundo* L. affects ground vegetation taxonomic richness // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. № 1. P. 20758. doi: 10.1038/s41598-021-00258-x
17. Kostina M.V., Yasinskaya O.I., Barabanshchikova N.S., Orlyuk F.A. Toward a issue of box elder invasion into the forests around Moscow // *Rus. J. Biol. Invasions*. 2016. Vol. 7. P. 47–51. doi: 10.1134/S2075111716010069
18. Веселкин Д.В., Коржиневская А.А. Пространственные факторы адвентизации подлеска в лесопарках крупного города // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2018. № 4. С. 55–65. doi: 10.1134/S2587556618040167
19. Веселкин Д.В., Коржиневская А.А., Подгаевская Е.Н. Состав и численность адвентивных и инвазивных кустарников и деревьев подлеска в лесопарках г Екатеринбурга // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2018. № 42. С. 102–118. doi: 10.17223/19988591/42/5
20. Веселкин Д.В., Рафикова О.С. Влияние водных вытяжек из листьев клена ясенелистного и листьев местных видов деревьев на раннее развитие растений // *Экология*. 2022. № 2. С. 87–95. doi: 10.31857/S0367059722020081
21. Веселкин Д.В., Дубровин Д.И., Рафикова О.С., Липихина Ю.А., Золотарева Н.В., Подгаевская Е.Н., Пустовалова Л.А., Яковлева А.В. Затенение и перехват света в зарослях инвазивных видов *Acer negundo* и *Sorbaria sorbifolia* // *Российский журнал биологических инвазий*. 2021. Т. 14. № 4. С. 30–42.
22. Merceron N.R., Lamarque L.J., Delzon S., Porte A.J. Killing it softly: girdling as an efficient eco-friendly method to locally remove invasive *Acer negundo* // *Ecol. Restor.* 2016. Vol. 34. № 4. P. 297–305. doi: 10.3368/er.34.4.297
23. Третьякова А.С. Закономерности распределения чужеродных растений в антропогенных местообитаниях Свердловской области // *Российский журнал биологических инвазий*. 2015. Т. 8. № 4. С. 118–128.
24. Третьякова А.С. Особенности распределения чужеродных растений в естественных местообитаниях на урбанизированных территориях Свердловской области // *Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле*. 2016. № 26 (1). С. 85–93.
25. Montile A.A., Tishkina E.A. Spatial and temporal structure of the *Acer negundo* L. cenopopulation in the forest parks of Yekaterinburg // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2022. Vol. 1045. No. 1. P. 012118. doi: 10.1088/1755-1315/1045/1/012118
26. Tishkina E.A. Expansion of *Acer negundo* L. in the forest parks of Yekaterinburg // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2022. Vol. 1045. No. 1. P. 012069. doi: 10.1088/1755-1315/1045/1/012069
27. Шавнин С.А., Голиков Д.Ю., Монтиле А.А., Монтиле А.И. Краевой эффект, особенности роста и морфогенеза деревьев сосны обыкновенной в лесопарках и естественных насаждениях // *Экология*. 2020. № 3. С. 163–170. doi: 10.31857/S0367059720030142
28. Мамаев С.А. Определитель деревьев и кустарников Урала. Местные и интродуцированные виды. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 260 с.
29. Петров А.П., Ладейщикова Г.В., Зотеева Е.А. Дигрессия фитоценозов и натурализация древесных растений в лесопарковой зоне г. Екатеринбурга // *Ботанические исследования на Урале*. 2009. С. 279–281.

References

1. Vinogradova YK, Mayorov SR, Horun LV. *Chernaya kniga flory Srednei Rossii: chuzherodnye vidy rastenii v ekosistemakh Srednei Rossii* [The Black Book of the Flora of Central Russia: alien plant species in the ecosystems of Central Russia]. Moscow: GEOS publ.; 2010. (In Russ.).
2. Kuklina AG, Vinogradova YK. Fitoinvazii: risk and environmental implication. *Nauka i zhizn'*. 2015;(5):107–113. (In Russ.).
3. Pimentel D, Zuniga R, Morrison D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecol Econ*. 2005;52(3):273–288. doi: 10.1016/j.ecolecon.2004.10.002
4. Porte AJ, Lamarque LJ, Lortie ChJ, Delzon S, Michalet R. Invasive *Acer negundo* outperforms native species in non-limiting resource environments due to its higher phenotypic plasticity. *BMC Ecology*. 2011;11:28. doi: 10.1186/1472-6785-11-28
5. Vinogradova YK, Mayorov SR, Bochkina VD. Alien plant species and their influence on the Main Botanical Garden's flora dynamics. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2015;8(4):22–41. (In Russ.).
6. Veselkin DV, Zolotareva NV, Lipikhina YA, Podgaevskaya EN, Kiseleva OA. Diversity of plants in thickets of invasive *Sorbaria sorbifolia*: differences in the effect on aboveground vegetation and seed bank. *Ekologia*. 2020;(6):417–426. (In Russ.). doi: 10.31857/S0367059720060098

7. Montile AA, Tishkina EA. Quantitative characteristics of specimen size traits manifestation and determining the condition of *Cotoneaster lucida* Schlecht under conditions of the urbanosphere of Yekaterinburg. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2020;(3):138–145. (In Russ.). doi: 10.37670/2073–0853–2020–83–3–138–145
8. Montile AA, Tishkina EA. Features of the size structure of *Cotoneaster lucidus* Chlecht. depending on localization in forest parks of Yekaterinburg. *Vestnik of Buryat state academy of agriculture named after V. Philippov*. 2020;(3):103–111. (In Russ.). doi: 10.34655/bgsha.2020.60.3.016
9. Emelyanov AV, Frolova SV. *Acer negundo* L. in coastal phytocenoses of the Vorona River. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2011;4(2):40–43. (In Russ.).
10. Richardson DM, Pysek P. Plant invasions: merging the concepts of species invasiveness and community invisibility. *Prog Phys Geog*. 2006;30(3):409–431. doi: 10.1191/0309133306pp490
11. Vitousek PM, Dantonio CM, Loope LL, Rejmanek M, Westbrooks R. Introduced species: A significant component of human-caused global change. *New Zeal J Ecol*. 1997;21(1):1–16.
12. Veselkin DV, Korzhinevskaya AA, Podgaevskaya EN. The Edge Effect on the Herb–Dwarf Shrub Layer of Urbanized Southern Taiga Forests. *Russ J Ecol*. 2018;49:465–474. doi: 10.1134/S1067413618060139
13. Veselkin DV, Dubrovin DI. Diversity of the grass layer of urbanized communities dominated by invasive *Acer negundo*. *Rus J Ecol*. 2019;50(5):413–421. doi: 10.1134/S1067413619050114
14. Veselkin DV, Kiseleva OA, Ekshibarov ED, Rafikova OS, Korzhinevskaya AA. Abundance and diversity of seedlings of the soil seed bank in the thickets of the invasive species *Acer negundo* L. *Russ J Biol Invasions*. 2018;9(2):108–113. doi: 10.1134/S2075111718020133
15. Veselkin DV, Rafikova OS, Ekshibarov ED. The soil of invasive *Acer negundo* thickets is unfavorable for mycorrhizal formation in native herbs. *Journal of general biology*. 2019;80(3):214–225. doi: 10.1134/S0044459619030084
16. Veselkin DV, Dubrovin DI, Pustovalova LA. High canopy cover of invasive *Acer negundo* L. affects ground vegetation taxonomic richness. *Scientific Reports*. 2021;(11):20758. doi: 10.1038/s41598–021–00258-x
17. Kostina MV, Yasinskaya OI, Barabanshchikova NS, Orlyuk FA. Toward a issue of box elder invasion into the forests around Moscow. *Rus J Biol Invasions*. 2016;7(1):47–51. doi: 10.1134/S2075111716010069
18. Veselkin DV, Korzhinevskaya AA. Spatial factors of the alien understory shrubs and trees distribution in urban forests of large city. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2018;(4):55–65. (In Russ.). doi: 10.1134/S2587556618040167
19. Veselkin DV, Korzhinevskaya AA, Podgayevskaya EN. The species composition and abundance of alien and invasive understory shrubs and trees in urban forests of Yekaterinburg. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;(42):102–118. (In Russ.). doi: 10.17223/19988591/42/5
20. Veselkin DV, Rafikova OS. Effects of water extracts from the leaves of boxelder maple *Acer negundo* and native tree species on the early development of plants. *Ekologia*. 2022;(2):87–95. (In Russ.). doi: 10.31857/S0367059722020081
21. Veselkin DV, Dubrovin DI, Rafikova OS, Lipikhina YA, Zootareva NV, Podgaevskaya EN, et al. Capture and interception of light in the thickets of invasive species *Acer negundo* and *Sorbaria sorbifolia*. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2021;14(4):30–42. (In Russ.).
22. Merceron NR, Lamarque LJ, Delzon S, Porte AJ. Killing it softly: girdling as an efficient eco-friendly method to locally remove invasive *Acer negundo*. *Ecol Restor*. 2016;34(4):297–305. doi: 10.3368/er.34.4.297
23. Tretyakova AS. Regularities of distribution of alien plants in anthropogenous habitats of Sverdlovsk oblast. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2015;8(4):118–128. (In Russ.).
24. Tretyakova AS. Laws of distribution of alien plants in natural habitats for urban Sverdlovsk region. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Science*. 2016;26(1):85–93. (In Russ.).
25. Montile AA, Tishkina EA. Spatial and temporal structure of the *Acer negundo* L. cenopopulation in the forest parks of Yekaterinburg. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci*. 2022;1045(1):012118. doi: 10.1088/1755–1315/1045/1/012118
26. Tishkina EA. Expansion of *Acer negundo* L. in the forest parks of Yekaterinburg. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci*. 2022;1045(1):012069. doi: 10.1088/1755–1315/1045/1/012069
27. Shavnin SA, Golikov DY, Montile AA, Montile AI. Edge effect: growth and morphogenetic features of scots pine trees in forest parks and natural stands. *Ekologia*. 2020;(3):163–170. (In Russ.). doi: 10.31857/S0367059720030142
28. Mamaev SA. *Opredelitel' derev'ev i kustarnikov Urala. Mestnye i introdutsirovannye vidy* [Determinant of trees and shrubs of the Urals. Native and introduced species]. Yekaterinburg; 2000. (In Russ.).

29. Petrov AP, Ladeishchikova GV, Zoteeva EA. Digression of phytocenoses and naturalization of woody plants in the forest park zone of Ekaterinburg. *Botanical studies in the Urals: conference proceedings*. Perm; 2009. p.279–281. (In Russ.).

Об авторах:

Тишкина Елена Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории «Экология древесных растений», Ботанический сад УрО РАН, 620144, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202а; доцент кафедры экологии и природопользования, Уральский государственный лесотехнический университет, 620100, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37; e-mail: Elena.MLOB1@yandex.ru

ORCID: 0000–0001–6315–2878 SPIN-код: 7435–8562

Семкина Лидия Александровна — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Экология древесных растений», Ботанический сад УрО РАН, 620144, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202а; e-mail: lidia.semkina@botgard.uran.ru

ORCID: 0000–0003–2351–3258 SPIN-код: 8359–8467

Шевелина Ирина Владимировна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой лесной таксации и лесоустройства, Уральский государственный лесотехнический университет, 620100, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37; e-mail: ishevelina@gmail.com

SPIN-код: 4131–5616

About authors:

Tishkina Elena Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Laboratory “Ecology of Woody Plants”, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 202a 8 Marta st., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation; Associate Professor, Department of Ecology and Environmental Management, Ural State Forest Engineering University, 37 Sibirsky trakt st., Ekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: Elena.MLOB1@yandex.ru

ORCID: 0000–0001–6315–2878 SPIN-code: 7435–8562

Semkina Lidiya Aleksandrovna — Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory “Ecology of Woody Plants”, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 202a 8 Marta st., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation; e-mail: lidia.semkina@botgard.uran.ru

ORCID: 0000–0003–2351–3258 SPIN-code: 8359–8467

Shevelina Irina Vladimirovna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Forest Taxation and Forest Management, Ural State Forest Engineering University, 37 Sibirsky trakt st., Ekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: ishevelina@gmail.com

SPIN-code: 4131–5616



Морфология и онтогенез животных

Morphology and ontogenesis of animals

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-314-323

EDN: IJIJWK

УДК 57:619:591.1:612.4

Научная статья / Research article

Особенности гормонального профиля котов российской селекции

А.В. Петряева¹ , **В.И. Кузнецов¹** , **А.В. Ткачев^{1,2}**  , **О.Л. Ткачева²** ¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация²Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева,
г. Москва, Российская Федерация sasha_sashaola@mail.ru

Аннотация. В современной фелинологии все больший интерес исследователей вызывает поведение котов, в частности причины агрессивности. Известны способы определения гендерного темперамента котов на основании уровня тестостерона. У котов российской селекции мало изучены уровни эстрадиола и пролактина в сочетании с концентрациями тестостерона. Цель исследования — изучить взаимосвязь между уровнем агрессивного поведения и концентрацией в крови тестостерона, эстрадиола и пролактина у *Felis catus*. Исследование выполняли с 2015 по 2023 гг. в Омске, Луганске, Москве и Московской области. Исследования проводили на 162 половозрелых котах в возрасте от 2 до 11 лет, которые принадлежали к 9 различным породам российской селекции. Концентрацию в сыворотке крови гормонов определяли иммуноферментным методом с применением наборов ООО «ХЕМА» (Россия), Sigma (США), ЗАО «Вектор-Бест» (Россия) на полуавтоматическом анализаторе Multiskan FC (Termo Fisher Scientific, США). Выявлена особенность концентрации основного полового гормона исследованных самцов — наибольшая концентрация тестостерона была у молодых котов российской селекции: на 16,8 % выше ($p < 0,05$), чем у половозрелых, и на 35,8 % ($p < 0,01$) — чем у старых котов. Наибольшая концентрация эстрадиола в сыворотке крови котов российской селекции была у старых животных, что на 4,3 % выше, чем у половозрелых и на 33,3 % ($p < 0,01$) — чем у молодых самцов. Наибольшая концентрация пролактина

© Петряева А.В., Кузнецов В.И., Ткачев А.В., Ткачева О.Л., 2024

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

в крови котов российской селекции была у старых животных, что на 9,6 % ($p < 0,05$) и 48,8 % ($p < 0,001$) выше, чем у половозрелых и молодых самцов соответственно. Выявили этолого-функциональную особенность домашних пород *Felis catus* по количеству основного женского гормона — эстрадиола. Наибольшее количество гормона было у котов самого спокойного типа поведения, вообще не проявлявших признаков агрессии, — меланхоликов, что на 66,7 % выше ($p < 0,001$), чем у второго по отсутствию агрессивности типа поведения — флегматичного типа темперамента, на 54,8 % выше ($p < 0,001$), чем у животных, проявлявших средний уровень агрессивного поведения по отношению к животным своего вида, — сангвиников, и в 2,5 раза выше ($p < 0,001$), чем у особей с максимальным уровнем агрессивного поведения по отношению к животным и человеку — холериков. Сделан вывод о том, что повышение уровня эстрадиола способствует более спокойному поведению самцов *Felis catus* в домашних условиях.

Ключевые слова: домашний кот, физиология, тестостерон, эстрадиол, пролактин, *Felis catus*

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

История статьи: поступила в редакцию 27 января 2024 г., принята к публикации 12 марта 2024 г.

Для цитирования: Петряева А.В., Кузнецов В.И., Ткачев А.В., Ткачева О.Л. Особенности гормонального профиля котов российской селекции // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 314—323. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-314-323

Features of hormonal profile in cats of Russian breeds

Alina V. Petryaeva¹ , Vladimir I. Kuznetsov¹ ,
Aleksandr V. Tkachev^{1, 2}  , Olga L. Tkacheva² 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

 sasha_sashaola@mail.ru

Abstract. In modern felinology, cat owners are increasingly interested in behavior of their pets. Based on the study of testosterone levels, methods for determining the gender temperament of cats were proposed. Estradiol and prolactin levels in combination with testosterone concentrations remain less studied in cats of the Russian selection. The aim of the research was to study the relationship between the level of aggressive behavior and blood concentrations of testosterone, estradiol and prolactin in *Felis catus*. The experiments were carried out in Omsk, Lugansk, Moscow and the Moscow region in 2015–2023. The study used 162 mature cats aged 2 to 11 years, which belonged to 9 different Russian breeds. Concentration of hormones in blood serum was determined by the enzyme immunoassay (ELISA) using kits from HEMA (Russia), Sigma (USA), Vector-Best (Russia) on semi-automatic Multiskan FC analyzer (Termo Fisher Scientific; USA). The highest concentration of testosterone was in young cats, which was 16.8 and 35.8 % more ($p < 0.01$) compared to full-aged and old cats, respectively. The highest concentration of estradiol in blood serum of Russian cats was in old animals, which was 4.3 and 33.3% more ($p < 0.01$) compared to full-aged and young males, respectively. The highest concentration of prolactin in blood was in old animals, which was 9.6 and 48.8% more ($p < 0.001$) than in full-aged and young males, respectively. The largest amount of estradiol was detected in female cats with the calmest type of behavior without any aggressive signs — in melancholics, which was 66.7% more ($p < 0.001$) than in phlegmatics; 54.8% more ($p < 0.001$) than in animals with average level of aggressive behavior towards animals of the same species — sanguines, and 2.5 times more ($p < 0.001$) in comparison with animals that showed the

maximum level of aggressive behavior towards animals and humans — choleric. Therefore, it can be concluded that increase in estradiol level contributes to a calmer behavior of *Felis catus* males in homes.

Keywords: domestic cat, physiology, testosterone, estradiol, prolactin, *Felis catus*

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

Article history: Received: 27 January 2024. Accepted: 12 March 2024.

For citation: Petryaeva AV, Kuznetsov VI, Tkachev AV, Tkacheva OL. Features of hormonal profile in cats of Russian breeds. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):314–323. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-314-323

Введение

В современной фелинологии особое внимание уделяется изучению поведения котов и способам влияния на проявления агрессии со стороны животных в отношении к представителям своего вида и человеку. Особенности поведения домашней кошки заключаются в том, что одомашненные кошки (*Felis catus*) живут в высокой плотности и взаимодействуют друг с другом, а большинство диких кошачьих живут более обособленно. Эти аспекты заложили эволюционные различия в поведении диких и домашних кошачьих. В дальнейшем, когда люди начали оседать и заниматься земледелием, *Felis catus* приобрели особое значение в борьбе с вредителями пищевых ресурсов человека — грызунами. В то же время отбор *Felis catus* по особенностям характера и высшей нервной деятельности происходил менее выражено в связи с тем, что *Felis catus* значительно хуже собак подвергались дрессировке [1–3].

За время существования вместе с человеком эволюционное развитие характера и поведения *Felis catus* шло двумя путями. Первый путь — сохранение одиночного поведения подобно хищным кошачьим с высокой частотой проявления агрессии по отношению к другим сородичам; второй характеризовался социальным поведением и меньшей степенью проявления агрессии по отношению к животным своего вида и человеку. Естественно, что именно таких животных человек был более склонен оставлять на размножение [4–6].

На начальной стадии становления этологии кошачьих как науки особенности социального поведения *Felis catus* изучали через призму уровня основных половых гормонов самцов и самок, а также путем исследования глюкокортикоидов, которые могут влиять на агрессивное поведение и уровень которых существенно возрастает при стрессовых ситуациях. В то же время доказано, что дикие виды кошачьих, а особенно самки, имеют более высокие уровни глюкокортикоидов. Возможно, потому что именно самки испытывают основную нагрузку при сохранении потомства от естественных врагов. Эта особенность прослеживается и на домашней кошке, которая также становится более агрессивной в период заботы о новорожденном потомстве [7–9].

Итак, у котов лучше изучены особенности уровня тестостерона и глюкокортикоидов, а у кошек — окситоцина, эстрадиола и глюкокортикоидов. Способы

определения гендерного темперамента котов на основании уровня тестостерона существуют, менее изученными у котов российской селекции остаются уровни эстрадиола и пролактина в сочетании с концентрациями тестостерона [10, 11].

Цель исследования — изучить взаимосвязь между уровнем агрессивного поведения и концентрацией в крови тестостерона, эстрадиола и пролактина у *Felis catus*.

Материалы и методы исследования

Исследование проводили с 2015 по 2023 гг. в Омске, Луганске, Москве и Московской области на особях 162 половозрелых котов в возрасте 2–11 лет 9 различных пород российской селекции: ангора турецкая, бенгальская порода, британская короткошерстная, Европейская порода, сибирская порода, персидская порода, русская голубая порода, мейн-кун, сфинкс. Типологические особенности поведения и темперамента *Felis catus* определяли по запатентованной нами методике [10, 11]. Концентрацию в сыворотке крови гормонов определяли иммуноферментным методом с применением наборов ООО «ХЕМА» (Россия), Sigma (США), ЗАО «Вектор-Бест» (Россия) на полуавтоматическом анализаторе Multiskan FC (Termo Fisher Scientific, США). Математико-статистические расчеты результатов этолого-физиологических исследований поведения осуществляли по общепринятому критерию Стьюдента в SPSS for Windows (IBM, США).

Результаты исследования и обсуждение

Изучение типологических особенностей поведения *Felis catus* российской селекции мы начали по трем основным гормонам, которые сильнее всего влияют на репродуктивную функцию животных: тестостерон, эстрадиол и пролактин. В предыдущих исследованиях мы установили породные особенности гормонального профиля котов российской селекции. Поэтому в настоящем исследовании было решено проанализировать полученные данные по тестостерону, эстрадиолу и пролактину в разрезе возрастной группы, гендерного темперамента и групп крови. Результаты исследований гормонального профиля котов российской селекции разных возрастных групп приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физиологические особенности гормонального профиля котов российской селекции разных возрастных групп, $M \pm m$

Возрастная группа котов	Количество проб	Гормональный профиль		
		Тестостерон, нмоль/л	Эстрадиол, нмоль/л	Пролактин, мМЕ/л
Молодые (2–4 года)	33	15,98 ± 0,41	0,36 ± 0,01	36,59 ± 1,13
Полновозрастные (4–7 лет)	66	13,68 ± 0,25*	0,46 ± 0,01	49,69 ± 0,90*
Старые (8 и более лет)	63	11,77 ± 0,24**	0,48 ± 0,02**	54,45 ± 1,11***

Примечание. * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ в сравнении с молодыми котами.

Table 1

Physiological features of hormonal profile in Russian cats of different age groups, M ± m

Age group of cats	Number of samples	Hormonal profile		
		Testosterone, nmol/L	Estradiol, nmol/L	Prolactin, mME/L
Young (2–4 years)	33	15.98 ± 0.41	0.36 ± 0.01	36.59 ± 1.13
Full-aged (4–7 years)	66	13.68 ± 0.25*	0.46 ± 0.01	49.69 ± 0.90*
Old (8 years and more)	63	11.77 ± 0.24**	0.48 ± 0.02**	54.45 ± 1.11***

Note. * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; *** – $p < 0.001$ in comparison to the young cats.

Наибольшая концентрация тестостерона (основного полового гормона самцов) выявлена у молодых котов российской селекции — на 16,8 % больше ($p < 0,05$), чем у полновозрастных, и на 35,8 % больше ($p < 0,01$), чем у старых котов. Наивысшая концентрация эстрадиола в сыворотке крови установлена у старых животных — на 4,3 % больше, чем у полновозрастных, и на 33,3 % больше ($p < 0,01$), чем у молодых самцов. Наибольшая концентрация пролактина в крови котов российской селекции была у старых животных, что на 9,6 % ($p < 0,05$) и на 48,8 % ($p < 0,001$) больше, чем у полновозрастных и молодых самцов соответственно.

Степень влияния возрастной группы *Felis catus* на концентрацию основного гормона, ответственного за агрессивное поведение (тестостерона), составила около 5,4 % ($p < 0,05$). Математическое влияние на количество гормона, который несколько снижал уровень агрессии — эстрадиола, было ниже и составило 3,9 % ($p < 0,05$). На этом фоне вспомогательный гормон доброжелательного поведения (пролактин) зависел от возрастной группы на 6,4 % ($p < 0,05$), что подтверждает наше предположение о наличии косвенного влияния возрастной группы на степень проявления агрессивного поведения. Таким образом, полученные данные впервые характеризуют степень взаимосвязи возраста и гормонального профиля котов российской селекции.

Следующим важным аспектом было изучение этолого-физиологических характеристик гормонального профиля *Felis catus* российской селекции в зависимости от типологических особенностей этологического темперамента. Результаты определения уровня гормонов в сыворотке крови котов с разным гендерным темпераментом приведены в табл. 2.

Таблица 2

Гормональный профиль котов различного темперамента, M ± m

Гормон	Тип темперамента			
	Безудержный (холерик, n = 10)	Живой (сангвиник, n = 65)	Спокойный (флегматик, n = 56)	Слабый (меланхолик, n = 31)
Тестостерон, нмоль/л	27,23 ± 0,26	19,55 ± 0,09***	11,26 ± 0,09***	3,96 ± 0,11***
Эстрадиол, нмоль/л	0,26 ± 0,01	0,42 ± 0,01**	0,39 ± 0,01**	0,65 ± 0,01***
Пролактин, мМЕ/л	24,54 ± 1,08	44,68 ± 0,97***	42,51 ± 0,71***	75,85 ± 1,51***

Примечание. * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$ в сравнении с холериками.

Hormonal profile in cats of different temperament, M ± m

Hormonal profile	Temperament			
	Unrestrained (choleric, n = 10)	Alive (sanguine, n = 65)	Calm (phlegmatic, n = 56)	Weak (melancholic, n = 31)
Testosterone, nmol/L	27.23 ± 0.26	19.55 ± 0.09***	11.26 ± 0.09***	3.96 ± 0.11***
Estradiol, nmol/L	0.26 ± 0.01	0.42 ± 0.01**	0.39 ± 0.01**	0.65 ± 0.01***
Prolactin, mME/L	24.54 ± 1.08	44.68 ± 0.97***	42.51 ± 0.71***	75.85 ± 1.51***

Note. * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$, *** – $p < 0.001$ in comparison with choleric cats.

Анализ данных табл. 2 позволяет заключить, что концентрация основного полового гормона самцов — тестостерона — преобладала у особей наиболее агрессивного типа поведения — холериков, превышая концентрацию этого гормона на 39,3 % по сравнению с сангвиниками и на 42,5 % — с котами флегматичного типа поведения. По отношению к животным, которые практически не проявляли агрессию, — меланхоликам — у холериков тестостерона было больше в 6,9 раза. Это подтверждает роль тестостерона в агрессивном поведении домашних животных *Felis catus*.

Этолого-функциональная особенность домашних пород *Felis catus* по количеству основного женского гормона — эстрадиола проявилась определением наибольшего количества этого гормона у котов наиболее спокойного типа поведения, который вообще не проявлял признаков агрессивного поведения, — меланхоликов. Концентрация эстрадиола у них на 66,7 % больше ($p < 0,001$), чем у животных второго по отсутствию агрессивности типа поведения — с флегматичным типом темперамента, на 54,8 % больше ($p < 0,001$), чем у котов, проявлявших средний уровень агрессивного поведения по отношению к животным своего вида, — сангвиников, и в 2,5 раза больше ($p < 0,001$), чем у животных с максимальным уровнем агрессивного поведения по отношению к животным и человеку — холериков. Следовательно, повышение уровня эстрадиола способствует более спокойному поведению самцов *Felis catus* в домашних условиях.

На этом фоне концентрация вспомогательного гормона пролактина была наивысшей у животных с наиболее спокойным типом поведения — меланхоликов: на 78,4 % больше ($p < 0,001$) по сравнению с животными, проявлявшими агрессию редко, и то только по отношению к животным своего вида, — флегматиками; на 69,8 % больше ($p < 0,001$), чем у самцов, которые характеризовались умеренной агрессией по отношению к *Felis catus* и редко были агрессивными по отношению к человеку, — сангвиников; в 3,1 раза больше ($p < 0,001$), чем у самцов, наиболее часто проявлявших агрессивное поведение по отношению к животным и людям, — холериков. Полученные данные в целом согласуются с результатами других исследователей [12–15].

Математическая характеристика корреляции типа поведения и уровня основного гормона тестостерона, отвечающего за агрессивное поведение, составляет 88,2 % ($p < 0,001$), основного гормона эстрадиола, увеличивающего проявление спокойного дружелюбного поведения, — 19,5 % ($p < 0,01$), вспомогательного

гормона пролактина, способствующего более спокойному поведению, — 27,8 % ($p < 0,01$). Таким образом, подтверждается предположение о том, что особенности агрессивного поведения косвенно можно прогнозировать после определения типа темперамента.

Для более широкого анализа разных физиологических особенностей был исследован гормональный профиль котов российской селекции в разрезе групп крови (табл. 3).

Таблица 3

**Гормональный профиль котов российской селекции
с разными группами крови, $M \pm m$**

Группа крови котов	Количество проб	Гормональный профиль		
		Тестостерон, нмоль/л	Эстрадиол, нмоль/л	Пролактин, мМЕ/л
A	81	13,74 ± 0,21	0,39 ± 0,01	46,13 ± 0,89
B	62	13,37 ± 0,27	0,44 ± 0,01*	46,63 ± 0,92
AB	19	12,07 ± 0,56**	0,66 ± 0,02***	67,84 ± 1,89***

Примечание. * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ в сравнении с группой крови А.

Table 3

Hormonal profile in Russian cats with different blood groups, $M \pm m$

Blood group	Number of samples	Hormonal profile		
		Testosterone, nmol/L	Estradiol, nmol/L	Prolactin, mME/L
A	81	13.74 ± 0.21	0.39 ± 0.01	46.13 ± 0.89
B	62	13.37 ± 0.27	0.44 ± 0.01*	46.63 ± 0.92
AB	19	12.07 ± 0.56**	0.66 ± 0.02***	67.84 ± 1.89***

Note. * — $p < 0.05$; ** — $p < 0.01$; *** — $p < 0.001$ in comparison with blood type A.

Результаты исследования (см. табл. 3) показывают, что количество главного мужского гормона тестостерона было наибольшим у котов российской селекции с группой крови А: на 2,8 и 13,8 % больше ($p < 0,01$), чем у самцов с группой крови В и АВ соответственно. В целом получается, что количество тестостерона было сопоставимым у животных с группами крови А и В и несколько снижалось у группы крови АВ. На этом фоне уровень эстрадиола был наибольшим у котов российской селекции с группой крови АВ: на 50 % больше ($p < 0,001$), чем у самцов с группой крови В, и на 69,2 % больше ($p < 0,001$), чем у животных с группой крови А. По эстрадиолу также наблюдались близкие показатели у животных с группами крови А и В и заметно увеличивалось его количество у котов с группой крови АВ. При этом количество пролактина было наибольшим у котов с группой крови АВ: на 45,5 % больше ($p < 0,001$), чем у животных с группой крови В, и на 47,1 % больше ($p < 0,001$), чем у самцов с группой крови А. Аналогичная физиологическая особенность сопоставимости уровня пролактина наблюдалась у котов с группами крови А и В, с заметным увеличением концентрации этого гормона у носителей антигенов АВ.

Степень влияния группы крови А на уровень тестостерона составляет 0,2 %, на уровень эстрадиола — 4,2 % ($p < 0,05$), на концентрацию пролактина — 1,1 %. Степень влияния группы крови АВ на уровень тестостерона составляет 0,5 %, на уровень эстрадиола — 11,9 % ($p < 0,05$), на концентрацию пролактина — 7,3 % ($p < 0,05$).

Заключение

Таким образом, установлены этолого-функциональные особенности влияния уровня разных гормонов на агрессивное поведение домашних *Felis catus* российской селекции. Концентрация основного полового гормона самцов — тестостерона — гормона, формирующего агрессию, преобладала у наиболее агрессивного типа поведения — холериков и была минимальной у наиболее спокойного поведения — меланхоликов. Уменьшение агрессивного поведения *Felis catus* российской селекции сопровождалось увеличением концентраций эстрадиола и пролактина. Полученные данные подтверждают роль тестостерона в агрессивном поведении домашних животных *Felis catus*. Следовательно, повышение уровня эстрадиола способствует более спокойному поведению самцов *Felis catus* в домашних условиях.

Библиографический список

1. Koyasu H., Takahashi H., Yoneda M., Naba S., Sakawa N., Sasao I. Correlations between behavior and hormone concentrations or gut microbiome imply that domestic cats (*Felis silvestris catus*) living in a group are not like 'groupmates' // PLoS ONE. 2022. № 17 (7). e0269589. doi: 10.1371/journal.pone.0269589
2. Служивая В.Ю., Сергаченко М.А., Ахметова В.В. Решение проблемы территориальных инстинктов на примере кота и собаки // Профессиональное обучение: теория и практика: Материалы V междунар. науч.-практ. конф., Ульяновск, 3 октября 2022 г. / ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова». Ульяновск: Издательско-полиграфический центр «Гарт» ИП Качалин А.В., 2022. Т. 2. С. 234–240. EDN RXGEZR
3. Павлова Е.В. Взаимосвязь социального поведения и гормонального статуса у дальневосточного лесного кота (*Prionailurus bengalensis euptilura*): автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2010. 24 с. EDN ZOBAMR
4. Michopoulos V., Higgins M., Toufexis D., Wilson M.E. Social subordination produces distinct stress-related phenotypes in female rhesus monkeys // Psychoneuroendocrinology. 2012. Vol. 37. № 7. P. 1071–1085. doi: 10.1016/j.psyneuen.2011.12.004
5. Macdonald D.W. The ecology of carnivore social behaviour // Nature. 1983. Vol. 301. P. 379–384. doi: 10.1038/301379a0
6. Bradshaw J.W.S. Sociality in cats: a comparative review // J Vet Behav. 2016. Vol. 11. P. 113–124. doi: 10.1016/j.jveb.2015.09.004
7. Booth A., Granger D.A., Mazur A., Kivlighan K.T. Testosterone and social Behavior // Soc Forces. 2006. Vol. 85. № 1. P. 167–191. doi: 10.1353/sof.2006.0116
8. Eisenegger C., Haushofer J., Fehr E. The role of testosterone in social interaction // Trends Cogn Sci. 2011. Vol. 15. № 6. P. 263–271. doi: 10.1016/j.tics.2011.04.008
9. Harris J.A. Review and methodological considerations in research on testosterone and aggression // Aggression and Violent Behavior. 1999. Vol. 4. № 3. P. 273–291. doi: 10.1016/S1359-1789(97)00060-8
10. Петряева А.В., Ткачев А.В., Ткачева О.Л. Тип высшей нервной деятельности котов и сапрофитная контаминация их спермы // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: Материалы X Национальной науч.-практ. конф. с международным участием, Кемерово, 22 июня 2023 г. Кемерово: ФГБОУ ВО Кузбасская ГСХА, 2023. С. 69–74. EDN GUJDOK
11. Петряева А.В., Ткачев А.В., Ткачева О.Л. Влияние типа высшей нервной деятельности на физиологические особенности спермы котов российской селекции // Вестник Российского университета

дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 222–229. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-222-229 EDN PVGITG

12. Мальхин А.С., Кочеткова Н.А., Мерзленко Р.А. Сравнительная оценка концентрации гормонов щитовидной железы и коры надпочечников у кошек разных пород // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 1. С. 268–273. EDN DWOIHE

13. Амстиславский С.Я., Кожевникова В.В., Музыка В.В., Кизилова Е.А. Репродуктивная биология и консервация генетических ресурсов кошачьих // Онтогенез. 2017. Т. 48. № 2. С. 93–106. doi: 10.7868/S0475145017020021 EDN YIVVUZ

14. Сидорова К.А., Петрова Н.А., Качалкова Т.В., Пашаян С.А. Эндокринная система животных // Успехи современного естествознания. 2011. № 10. С. 56–57. EDN OCRPON

15. Мальхин А.С., Мерзленко Р.А. Влияние суточных биоритмов на функциональное состояние щитовидной железы и надпочечников // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. 2021. Т. 10. № 1. С. 53–56. doi: 10.48612/auud-8ka3-gpt8 EDN MDCQNI

References

1. Koyasu H, Takahashi H, Yoneda M, Naba S, Sakawa N, Sasao I. Correlations between behavior and hormone concentrations or gut microbiome imply that domestic cats (*Felis silvestris catus*) living in a group are not like 'groupmates'. *PLoS ONE*. 2022;17(7):e0269589. doi: 10.1371/journal.pone.0269589

2. Sluzhivaya VY, Sergatenko MA, Akhmetova VV. Solving the problem of territorial instincts on the example of a cat and a dog. In: *Vocational training: theory and practice: conference proceedings. Volume 2*. Ulyanovsk; 2022. p.234–240. (In Russ.).

3. Pavlova EV. Vzaimosvyaz' sotsial'nogo povedeniya i gormonal'nogo statusa u dal'nevostochnogo lesnogo kota (*Prionailurus bengalensis euptilura*) [The relationship of social behavior and hormonal status in the Far Eastern forest cat (*Prionailurus bengalensis euptilura*)]. Moscow; 2010. (In Russ.).

4. Michopoulos V, Higgins M, Toufexis D, Wilson ME. Social subordination produces distinct stress-related phenotypes in female rhesus monkeys. *Psychoneuroendocrinology*. 2012;37(7):1071–1085. doi: 10.1016/j.psyneuen.2011.12.004

5. Macdonald DW. The ecology of carnivore social behaviour. *Nature*. 1983;301:379–384. doi: 10.1038/301379a0

6. Bradshaw JWS. Sociality in cats: a comparative review. *J Vet Behav*. 2016;11:113–124. doi: 10.1016/j.jveb.2015.09.004

7. Booth A, Granger DA, Mazur A, Kivlighan KT. Testosterone and social behavior. *Soc Forces*. 2006;85(1):167–191. doi: 10.1353/sof.2006.0116

8. Eisenegger C, Haushofer J, Fehr E. The role of testosterone in social interaction. *Trends Cogn Sci*. 2011;15(6):263–271. doi: 10.1016/j.tics.2011.04.008

9. Harris JA. Review and methodological considerations in research on testosterone and aggression. *Aggress Violent Behav*. 1999;4(3):273–291. doi: 10.1016/S1359-1789(97)00060-8

10. Petryaeva AV, Tkachev AV, Tkacheva OL. The type of higher nervous activity of cats and saprophytic contamination of their sperm. In: *Current scientific and technical means and agricultural problems: conference proceedings*. Kemerovo; 2023. p.69–74. (In Russ.).

11. Petryaeva AV, Tkachev AV, Tkacheva OL. The influence of the type of higher nervous activity on seminal physiological characteristics in cats of Russian breeds. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023;18(2):222–229. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-222-229

12. Malykhin AS, Kochetkova NA, Merzlenko RA. Parameters of thyroid and adrenal cortex hormones in cats of different breeds. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2021;(1):268–273. (In Russ.).

13. Amstislavsky SY, Kozhevnikova VV, Muzika VV, Kizilova EA. Reproductive biology and a genome resource bank of Felidae. *Ontogenез*. 2017;48(2):93–106. (In Russ.). doi: 10.7868/S0475145017020021

14. Sidorova KA, Petrova NA, Kachalkova TV, Pashayan SA. Endocrine system of animals. *Advances in current natural sciences*. 2011;(10):56–57. (In Russ.).

15. Malykhin AS, Merzlenko RA. Influence of daily biorhythms on the functional state of the thyroid gland and adrenal glands. *Collection of scientific papers of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary medicine*. 2021;10(1):53–56. (In Russ.). doi: 10.48612/auud-8ka3-gpt8

Об авторах:

Петряева Алина Вадимовна — педагог дополнительного образования кафедры общеобразовательных дисциплин института русского языка, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: petryaeva-av@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-9815-4029 SPIN-код: 6825-2917

Кузнецов Владимир Иванович — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры общей врачебной практики медицинского института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: kuznetsov-vi@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-4739-6976 SPIN-код: 5732-8789

Ткачев Александр Владимирович — доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Технологический колледж, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 14, стр. 6; доцент 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 Технологического колледжа, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, 127434, Российская Федерация, г. Москва, Прянишникова, д. 14, стр. 6; e-mail: tkacheva.olga2017@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5573-6117 SPIN-код: 7638-9512

About authors:

Petryaeva Alina Vadimovna — teacher of additional education, Department of General Education Disciplines, Institute of the Russian Language, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: krotova-ea@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-9815-4029 SPIN-code: 6825-2917

Kuznetsov Vladimir Ivanovich — Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of General Medical Practice, Medical Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: kuznetsov-vi@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-4739-6976 SPIN-code: 5732-8789

Tkachev Aleksandr Vladimirovich — Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Lecturer, Technological College, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 14 Pryanishnikova st., bldg. 6, Moscow, 127434, Russian Federation; Associate Professor, 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, Technological College, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 14 Pryanishnikova st., bldg. 6, Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: tkacheva.olga2017@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5573-6117 SPIN-code: 7638-9512



Генетика и селекция животных Genetics and selection of animals

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-324-336

EDN: IQHVVG

УДК 636.2.034:575.174.015.3

Научная статья / Research article

Влияние полиморфизма гена LGB на показатели молочной продуктивности коров холмогорской породы

Н.А. Худякова  , Е.Н. Щипакова , А.С. Кашин 

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика
Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск,
Российская Федерация

 nata070707hudyakova@yandex.ru

Аннотация. В современной селекционной работе уделяется немалое внимание генетическим ресурсам крупного рогатого скота (КРС), оценка которых при грамотном проведении скрещивания и отбора может повысить эффективность всей отрасли в целом. Один из способов реализации генетических ресурсов животных — оперирование информацией о полиморфизме генов молочной продуктивности. Цель исследования — определить полиморфизм гена бета-лактоглобулина у коров холмогорской породы и выявить его влияние на хозяйственно-ценные показатели молока. Исследования провели на маточном поголовье КРС холмогорской породы АО «Холмогорский Племязавод». Генотип исследуемых животных по гену LGB определяли методом ПЦР ПДРФ с использованием эндонуклеазы рестрикции *NotI*. Установлено, что аллель В гена бета-лактоглобулина является доминирующим в генофонде исследуемой выборки коров и его частота встречаемости равна 68 %, при этом самый распространенный генотип — АВ (47,4 %). Для оценки влияния разных генотипов LGB на молочную продуктивность и качество молока коров холмогорской породы показатели продуктивности за последнюю завершённую лактацию объединили в подгруппы в зависимости от генотипов и сравнили между собой. Скорее всего, уникальность холмогорской породы, выраженная не только в показателях молочной продуктивности, экстерьера и конституции, но и в генофон-

© Худякова Н.А., Щипакова Е.Н., Кашин А.С., 2024



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

де, повлияла на расхождение полученных результатов с общими закономерностями. Во-первых, в нашем случае, аллель В положительно влияет не только на качественные и технологические характеристики молока, но и на количественные показатели молочной продуктивности. Во-вторых, наибольшая величина удоя и массовой доли сухих веществ принадлежит животным с генотипом АВ. Рекомендуется включение процедуры оценки полиморфизма гена LGB в комплекс мероприятий селекционной-производственной работы для повышения экономической эффективности предприятия. Подобный шаг также способствует дальнейшему комплексному изучению этого гена как селекционного маркера.

Ключевые слова: белок β -лактоглобулин, маточное поголовье, генотипирование, генотип, аллель, качественные характеристики молока, количественные характеристики молока

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

Финансирование. Работа подготовлена в рамках выполнения темы государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН «Молекулярно-генетическая оценка сельскохозяйственных животных по селекционным и хозяйственно-полезным признакам в условиях арктических и субарктических территорий РФ» (FUUW-2024–0006) (регистрационный номер — 1023032200133–8–4.2.1).

История статьи: поступила в редакцию 23 октября 2023 г., принята к публикации 7 марта 2024 г.

Для цитирования: Худякова Н.А., Шчапакова Е.Н., Кашин А.С. Влияние полиморфизма гена LGB на показатели молочной продуктивности коров холмогорской породы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 324—336. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-324-336

The effect of LGB gene polymorphism on milk productivity indicators of Kholmogorsky cows

Natalya A. Khudyakova  , Ekaterina N. Shchipakova 
Andrey S. Kashin 

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, *Arkhangelsk, Russian Federation*
 nata070707hudyakova@yandex.ru

Abstract. In modern breeding work, considerable attention is paid to genetic resources of cattle, genetic assessment of which, with proper crossbreeding and selection, can increase efficiency of the entire industry. One way to realize the genetic resources of animals is to use information about polymorphism of milk productivity genes. The aim of the study was to determine polymorphism of β -lactoglobulin gene in in Kholmogorsky cows and to identify its effect on economically valuable milk indicators. The experiments were carried out on the breeding stock of Kholmogorsky breed in “Kholmogorsky Plemzavod”. The genotype of the studied animals for LGB gene was determined by PCR RFLP using Hae III restriction endonuclease. It was established that the allele B of the β -lactoglobulin gene was dominant in the genome of the studied sample of cows and its frequency of occurrence was 68%, while the most common genotype was AB (47.4%). To assess the effect of different LGB genotypes on milk productivity and milk quality of Kholmogorsky cows, productivity indicators for the last completed lactation were combined into subgroups depending on the genotypes and compared with each other. Most likely, the uniqueness of the Kholmogorsky breed, expressed not only in terms of milk productivity, exterior and constitution, but also in the gene pool, influenced the discrepancy between the obtained results and general patterns. Firstly, in our case, B allele has a positive effect both on qualitative and technological

characteristics of milk, and on quantitative indicators of milk productivity. Secondly, the largest value of milk yield and the mass fraction of dry matter belongs to animals with the AB genotype. We recommended to include the procedure for assessing polymorphism of LGB gene in a set of breeding and production work activities to increase the economic efficiency of the enterprise. Such a step will also contribute to the further comprehensive study of this gene as a breeding marker.

Keywords: β -lactoglobulin protein, breeding stock, genotyping, genotype, allele, qualitative characteristics of milk, quantitative characteristics of milk

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Funding. The research was performed under the state task of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences ‘Molecular genetic assessment of farm animals for breeding and economically useful traits in the Arctic and subarctic territories of the Russian Federation’ (FUUW-2024–0006) (no. 1023032200133–8–4.2.1).

Article history: Received: 23 October 2023. Accepted: 7 March 2024.

For citation: Khudyakova NA, Shchipakova EN, Kashin AS. The effect of LGB gene polymorphism on milk productivity indicators of Kholmogorsky cows. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):324–336. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-324-336

Введение

Перерабатывающие предприятия молочной промышленности в Архангельской области заинтересованы в закупке качественного сырья для производства белково-молочной продукции, что в свою очередь мотивирует производителей молока изучать и использовать современные молекулярно-генетические диагностические методы в животноводстве для обнаружения предпочтительных генотипов животных, положительно влияющих на технологические свойства молока.

Одним из актуальных вопросов молочного скотоводства является увеличение количественных показателей молочной продуктивности и повышение качественных характеристик молока, от которых зависит дальнейшая рентабельность предприятий перерабатывающей промышленности и, как следствие, соотношение цена — качество конечных продуктов. Интеграция молекулярно-генетических методов в селекционную работу позволит оценить эти ресурсы непосредственно на уровне ДНК и мобилизовать их. Использование информации о полиморфизме генов молочной продуктивности может способствовать реализации генетических ресурсов животных.

Белок β -лактоглобулин — один из сывороточных молочных белков, составляющий до 12 % от их общего количества, традиционно учитываемого как качественный показатель молока [1]. Открытие полиморфизма гена LGB, кодирующего аминокислотную последовательность β -лактоглобулина, спровоцировало множество исследователей сделать его основным предметом своей научной деятельности. Целью этих работ ставилась оценка влияния полиморфизмов на конечные количественные и качественные, лактационные и технологические показатели молочной продуктивности [2–8]. В силу большей частоты встречаемости, наиболее изученными из полиморфных форм являются аллели А и В [9, 10].

Таким образом, сформировано следующее представление о влиянии этих аллелей на показатели молочной продуктивности: аллель А в большей степени влияет на количественные показатели, и в первую очередь на удой; а аллель В — на качественные и технологические характеристики молока, такие как повышенное содержание молочного белка и жира, а также содержание сухих веществ в молоке и коагуляционные свойства. Однако зачастую результаты исследований разнятся, что можно связать со следующими факторами: различные условия содержания скота; уникальные генетические особенности как отдельного животного, так и породы в целом; различные научные подходы к проведению исследования и методологические базы [11, 12].

Тем не менее, выявляются некоторые общие закономерности: большинство исследователей показывают рост величины удоев у животных с генотипом АА, при этом наибольшие значения содержания белка и жира в молоке установлены у животных с гомозиготным генотипом ВВ. В связи с тем, что полиморфизмы гена LGB могут оказывать различное влияние на молочную продуктивность крупного рогатого скота (КРС) в зависимости от аллеля и породы, проведение данных исследований становится актуальным.

Цель исследования — определить полиморфизм гена бета-лактоглобулина у коров холмогорской породы и выявить его влияние на хозяйственно-ценные показатели молока. На основе установленных закономерностей можно целенаправленно формировать генофонды молочного поголовья холмогорской породы КРС с требуемыми показателями молочной продуктивности.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на маточном поголовье КРС холмогорской породы АО «Холмогорский Племязавод». Всего отобрали 209 образцов крови: кровь, полученную из яремной вены животных, отбирали в пробирки с ЭДТА до конечной концентрации 100 мМ. Экстракцию ДНК проводили по ручной методике с использованием центрифугирования набора реагентов «МагноПрайм ВЕТ» (НекстБио). Аллель А и В гена LGB определяли ПЦР ПДРФ методом с использованием эндонуклеазы рестрикции *NotI* (табл. 1–3). Визуализацию результатов рестрикции осуществляли путем электрофоретического разделения в 3% агарозном геле в течение 80 минут при напряжении электрического поля в 100 В.

Таблица 1

Смесь для амплификации на основе набора для проведения ПЦР с HS-Taq (+MgCl₂) (Биолабмикс)

Компонент смеси	Объем, мкл
5 × ПЦР буфер (+MgCl ₂)	5,0
50 × смесь dNTP	0,5
Прямой праймер (Синтол), 10 мкМ GTCTTGTGCTGGACACCGACTACA	1,2

Окончание табл. 1

Компонент смеси	Объем, мкл
Обратный праймер (Синтол), 10 мкМ CAGGACACCGGCTCCCGGTATATGA	1,2
ДНК-матрица	2,0
HS-Taq DNA-полимераза, 5 ед. акт./мкл	0,5
Стерильная вода	14,6

Table 1

Amplification mixture based on the PCR kit with HS-Taq (+MgCl₂) (Biolabmix)

Components	Volume, µL
5 × PCR buffer (+MgCl ₂)	5.0
50 × dNTP mixture	0.5
Direct primer GTCCTTGTGCTGGACACCGACTACA (Synthol), 10 µmol	1.2
Reverse primer CAGGACACCGGCTCCCGGTATATGA (Synthol), 10 µmol	1.2
DNA template	2.0
HS-Taq DNA polymerase, 5 U/µL	0.5
Sterile water	14.6

Таблица 2

Процедура амплификации с горячим стартом

Стадия	Режим	Повторность
Первичная денатурация	5 мин при 95 °С	1
Денатурация	40 с при 95 °С	38
Отжиг	40 с при 60 °С	
Элонгация	40 с при 72 °С	
Заключительная элонгация	10 мин при 72 °С	1

Table 2

Hot Start amplification procedure

Stage	Mode	Replication
Primary denaturation	5 min at 95 °C	1
Denaturation	40 sec at 95 °C	38
Annealing	40 sec at 60 °C	
Elongation	40 sec at 72 °C	
Final elongation	10 min at 72 °C	1

Смесь для рестрикции на основе набора эндонуклеазы рестрикции Hae III (SibEnzyme)

Компонент смеси	Объем, мкл
10 × SE-буфер G	2
Эндонуклеаза рестрикции Hae III, 10000 е. а./мл	1
Амплификат ДНК-матрицы	8
Стерильная вода	9

Table 3

Restriction mixture based on Hae III restriction endonuclease kit (SibEnzyme)

Components	Volume, μL
10 × SE-buffer G	2
Hae III restriction endonuclease, 10000 U/mL	1
Amplicon of DNA template	8
Sterile water	9

Для статистической обработки данных использовали расчетные формулы. Частоту встречаемости генотипов рассчитывали по формуле

$$p = \frac{n}{N}, \quad (1)$$

где p — частота определенного генотипа; n — количество особей, имеющих определенный генотип; N — общее число особей.

Также определяли частоту встречаемости отдельных аллелей по формуле

$$p_A = \frac{(2n_{AA} + n_{AB})}{2N}, \quad (2)$$

где p_A — частота встречаемости аллеля A; n_{AA} , n_{AB} — количество животных, несущих аллель A; N — общее число животных.

Состояние генного равновесия определяли с помощью закона Харди — Вайнберга. Ожидаемую гетерозиготность рассчитывали по формуле

$$H_e = 1 - (p^2 + q^2), \quad (3)$$

где H_e — ожидаемая гетерозиготность; p — частота аллеля A; q — частота аллеля B.

Для сопоставления фактического и ожидаемого распределения частот генотипов использовали критерий соответствия хи-квадрат:

$$\chi^2 = \sum \frac{(p_{\text{эмп}} - p_{\text{теор}})^2}{p_{\text{теор}}} \quad (4)$$

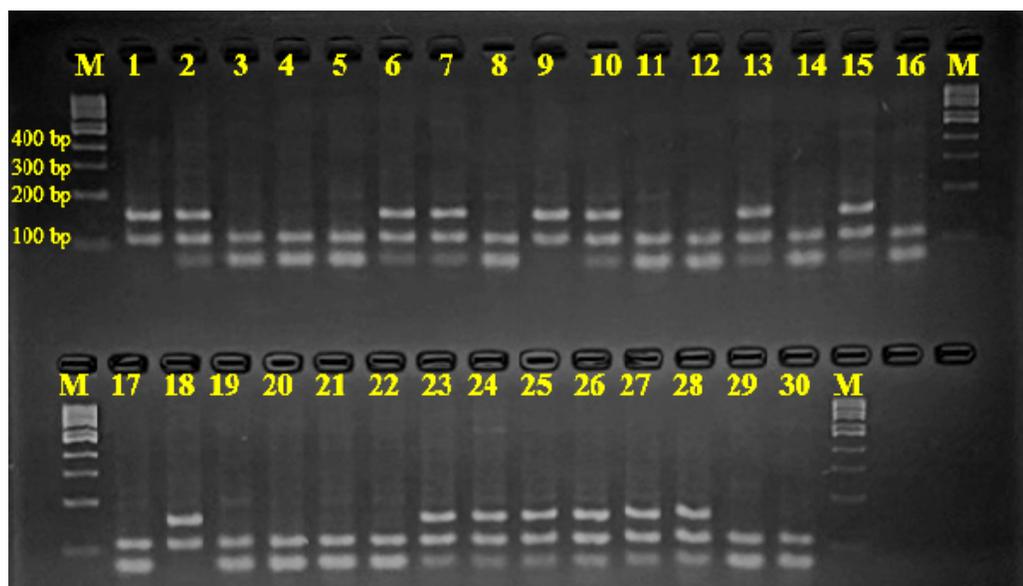
где χ^2 — отклонение эмпирического распределения частот генотипов от теоретического; $p_{\text{эмп}}$ — фактическое количество особей данного генотипа; $p_{\text{теор}}$ — теоретически ожидаемое количество особей данного генотипа.

Статистический анализ данных осуществлялся в программе Microsoft Excel 2021. Для анализа различий между показателями в сравнительных группах применялся параметрический *t*-критерий Стьюдента. Результаты представлены в виде $Me \pm m$ (ошибка среднего и стандартное отклонение). Критический уровень *p* при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05.

Результаты исследования и обсуждение

При проведении ПЦР-ПДФ методики с использованием эндонуклеазы рестрикции *NotI* в зависимости от генотипа исследуемого животного по гену LGB образуются фрагменты 153, 109 и 79/74 п.н. Генотипу LGB^{AA} соответствует наличие двух фрагментов длиной 153 и 109 п.н., для генотипа LGB^{BB} — наличие двух фрагментов длиной 109 и 79/74 п.н., а для LGB^{AB} — все три фрагмента 153, 109 и 79/74 п.н. [13].

Мы определяли генотип LGB у 209 особей маточного поголовья холмогорской породы АО «Холмогорский Племязавод». В исследуемой выборке выявили все три генотипа LGB аллелей А и В (рис.). Общая генетическая структура поголовья представлена далее (табл. 4).



Визуализация результатов ПЦР-ПДФ гена LGB: М – ДНК-маркер; 1, 9, 18 – генотип AA; 2, 6, 7, 10, 13, 15, 23–28 – генотип AB; 3–5, 8, 11, 12, 14, 16, 17, 19–22, 29, 30 – генотип BB

Источник: фото выполнили Н.А. Худякова, Е.Н. Щипакова, А.С. Кашин с помощью системы гель-документирования «Взгляд»

Visualization of PCR-PDRF results of the LGB gene: M-DNA marker; 1, 9, 18 – AA genotype; 2, 6, 7, 10, 13, 15, 23–28 – genotype AB; 3–5, 8, 11–12, 14, 16–17, 19–22, 29–30 – BB genotype

Source: photo taken by N.A. Khudyakova, E.N. Shchipakova, A.S. Kashin using the 'Vzglyad' gel documentation system

Таблица 4

Полиморфизм локуса бета-лактоглобулина у коров холмогорской породы

Показатель	n	Частота встречаемости генотипов						Частота встречаемости аллелей, %		χ^2
		AA		AB		BB		A	B	
		n	%	n	%	n	%			
Наблюдаемое распределение	209	18	8,6	99	47,4	92	44,0	32	68	1,445
Ожидаемое распределение		22	10,4	91	43,7	96	45,8			

Table 4

Polymorphism of β -lactoglobulin locus in Kholmogorsky cows

Parameter	n	Frequency of genotype occurrence						Frequency of alleles occurrence, %		χ^2
		AA		AB		BB		A	B	
		n	%	n	%	n	%			
Observed distribution	209	18	8.6	99	47.4	92	44.0	32	68	1.445
Expected distribution		22	10.4	91	43.7	96	45.8			

Выявлено доминирование аллеля В гена LGB в генофонде исследуемой выборки коров и его частота встречаемости, равная 68 %. Соответственно, частота встречаемости аллеля А составила 32 %. При этом самым распространенным генотипом оказался АВ — 47,4 % (99 из 209 голов).

При оценке наблюдаемого и ожидаемого распределения генотипов гена LGB по закону Харди — Вайнберга разница между AA-, AB- и BB-генотипами соответствовала средним значениям — 1,8...3,7 %. Значение вариабельности хи-квадрат χ^2 по гену LGB — 1,445, что меньше его стандартного значения 9,2. Исходя из этого, можно сделать вывод о сбалансированном состоянии генного равновесия по гену бета-лактоглобулина.

Для выявления взаимосвязи разных генотипов LGB и показателей молочной продуктивности коров холмогорской породы сформировали подгруппы животных по последней завершённой лактации в зависимости от генотипов и сравнены между собой (табл. 5).

Таблица 5

Молочная продуктивность животных с разными генотипами LGB по последней законченной лактации

Показатель		Удой за 305 дней лактации, кг	Массовая доля жира (МДЖ), %	Количество молочного жира, кг	Массовая доля белка (МДБ), %	Количество молочного белка, кг
1 лактация (n = 42)	AA (n = 6)	5317 ± 323*	3,67 ± 0,16*	195 ± 8	3,17 ± 0,04	169 ± 12*
	AB (n = 22)	6356 ± 232*/*	3,86 ± 0,10	246 ± 12	3,16 ± 0,04	201 ± 8*
	BB (n = 14)	5465 ± 276*	4,15 ± 0,13*	227 ± 18	3,28 ± 0,05	179 ± 9

Окончание табл. 5

Показатель		Удой за 305 дней лактации, кг	Массовая доля жира (МДЖ), %	Количество молочного жира, кг	Массовая доля белка (МДБ), %	Количество молочного белка, кг
2 лактации (n = 6)	AB (n = 3)	6818 ± 497	4,07 ± 0,07	277 ± 19	3,17 ± 0,11	216 ± 9
	BB (n = 3)	6797 ± 658	4,13 ± 0,25	281 ± 44	3,07 ± 0,10	209 ± 22
3 и более лактации (n = 88)	AA (n = 8)	7108 ± 338	3,76 ± 0,13	267 ± 15	3,02 ± 0,05	215 ± 13
	AB (n = 41)	7032 ± 161	4,12 ± 0,10	290 ± 9	3,05 ± 0,03	215 ± 5
	BB (n = 39)	6844 ± 168	3,99 ± 0,09	273 ± 8	3,09 ± 0,03	211 ± 6
Итого (n = 136)	AA (n = 14)	6340 ± 335	3,73 ± 0,10*	236 ± 13*	3,08 ± 0,04	195 ± 11
	AB (n = 66)	6797 ± 134	4,04 ± 0,07	274 ± 7	3,09 ± 0,02	210 ± 4
	BB (n = 56)	6496 ± 161	4,03 ± 0,07*	262 ± 8*	3,13 ± 0,03	203 ± 5

Примечание. Различия достоверны по t-критерию Стьюдента * – $p \leq 0,05$. Полужирным начертанием выделены наибольшие показатели молочной продуктивности в подгруппе.

Table 5

Productivity of dairy animals with different LGB genotypes according to the last completed lactation

Parameter		Milk yield for 305 days of lactation, kg	Mass fraction of fat, %	Amount of milk fat, kg	Mass fraction of protein, %	Amount of milk protein, kg
1st lactation (n = 42)	AA (n = 6)	5317 ± 323*	3.67 ± 0.16*	195 ± 8	3.17 ± 0.04	169 ± 12*
	AB (n = 22)	6356 ± 232*/*	3.86 ± 0.10	246 ± 12	3.16 ± 0.04	201 ± 8*
	BB (n = 14)	5465 ± 276*	4.15 ± 0.13*	227 ± 18	3.28 ± 0.05	179 ± 9
2nd lactation (n = 6)	AB (n = 3)	6818 ± 497	4.07 ± 0.07	277 ± 19	3.17 ± 0.11	216 ± 9
	BB (n = 3)	6797 ± 658	4.13 ± 0.25	281 ± 44	3.07 ± 0.10	209 ± 22
3 or more lactations (n = 88)	AA (n = 8)	7108 ± 338	3.76 ± 0.13	267 ± 15	3.02 ± 0.05	215 ± 13
	AB (n = 41)	7032 ± 161	4.12 ± 0.10	290 ± 9	3.05 ± 0.03	215 ± 5
	BB (n = 39)	6844 ± 168	3.99 ± 0.09	273 ± 8	3.09 ± 0.03	211 ± 6
Total (n = 136)	AA (n = 14)	6340 ± 335	3.73 ± 0.10*	236 ± 13*	3.08 ± 0.04	195 ± 11
	AB (n = 66)	6797 ± 134	4.04 ± 0.07	274 ± 7	3.09 ± 0.02	210 ± 4
	BB (n = 56)	6496 ± 161	4.03 ± 0.07*	262 ± 8*	3.13 ± 0.03	203 ± 5

Note. The differences are significant according to the Student's t-test * – $p \leq 0.05$. The highest indicators of milk productivity in the subgroup are highlighted in bold.

В исследуемую выборку животных входило 136 коров с завершённой лактацией, 42 из которых лактировали впервые, 6 — во второй раз и 88 — в третий и более раз.

В первой подгруппе животных (1-я лактация) преобладали коровы с генотипом АВ ($n = 22$), реже встречались коровы с генотипом ВВ ($n = 14$), наименьшая численность была у коров с генотипом АА ($n = 6$). Наилучшие показатели по удою за 305 дней лактации установили у особей с LGB^{AB} — 6356 кг, что на 1042 кг больше ($p \leq 0,05$), чем у коров с LGB^{AA} , и на 891 кг больше ($p \leq 0,05$), чем с LGB^{BB} . Также количество молочного жира и молочного белка было наибольшим у представителей генотипа АВ — 246 кг и 201 кг соответственно. При этом показатели МДЖ и МДБ преобладали у коров с ВВ — 4,15 и 3,28 % соответственно.

Вторая подгруппа (2-я лактация) была наименьшей по численности ($n = 6$) и в ее состав входило 3 представителя LGB^{AB} и 3 представителя LGB^{BB} . Показатели по удою за 305 дней лактации, МДБ и количеству молочного белка были выше у коров с генотипом АВ. Остальные показатели (МДЖ и количество молочного жира) наоборот оказались больше у коров с генотипом ВВ.

Третья подгруппа (3-я и более лактация) была самой многочисленной в исследуемой выборке — 88 голов. По генетической структуре разделение было следующим: LGB^{AA} — 8 голов, LGB^{AB} — 41 голова и LGB^{BB} — 39 головы. Удой за 305 дней лактации был больше у коров с генотипом АА — 7108 кг. МДЖ, количество молочного жира и молочного белка наибольшими были у представительниц генотипа АВ — 4,12 %, 290 кг и 215 кг соответственно. При этом МДБ выше у коров с ВВ — 3,09 %.

В общей сумме в исследуемой выборке коров с завершённой лактацией присутствовало 14 голов с генотипом АА, 66 голов — АВ и 56 голов — ВВ. Наибольшие показатели молочной продуктивности выявлены у коров с генотипом АВ: удой — 6797 кг, МДЖ — 4,04 %, количество молочного жира — 274 кг и количество молочного белка — 210 кг. За исключением показателя МДБ, который лучше проявился у коров с ВВ — 3,13 %.

Холмогорская порода — одна из самых широко распространенных и используемых отечественных пород. Эти животные являются непревзойденными производителями молока в условиях сурового климата северных регионов России [14]. Скорее всего, уникальность этой породы, выраженная не только в показателях молочной продуктивности, экстерьера и конституции, но и в генофонде, повлияла на расхождение полученных результатов с общими закономерностями. Во-первых, в нашем случае, аллель В положительно влияет не только на качественные и технологические характеристики молока, но и на количественные показатели молочной продуктивности. Во-вторых, наибольшая величина удоя и массовой доли сухих веществ принадлежит животным с генотипом АВ.

Заключение

Выявлено влияние полиморфизма гена LGB на хозяйственно-ценные показатели молочной продуктивности маточного поголовья КРС холмогорской породы АО «Холмогорский Племязавод». Установлено доминирование В аллеля в генофонде

поголовья, ассоциируемое с увеличением этих показателей. При этом наибольшую величину этих показателей обеспечивает экспрессия гетерозиготного генотипа АВ.

Для дальнейшего планирования селекционно-племенной работы особенно интересно установление ассоциативных связей генотипов гена LGB с показателями молочной продуктивности именно на период 3-й и более лактации, так как именно в данный период корова достигает максимальной молочности и окупает произведенные на нее затраты. При сопоставлении результатов ежемесячного производственного контроля качества молока с генотипом гена LGB соответствующих молочных коров выявлены следующие тенденции: экспрессия генотипа АА связана с повышением удоя, так удой коров с LGB^{AA} составил 7108 кг, что на 1,1 % больше, чем у коров с LGB^{AB} (7032 кг), и на 3,9 % — чем у коров с LGB^{BB} (6844 кг); экспрессия генотипа АВ связана с повышением МДЖ в молоке, так МДЖ в молоке коров с LGB^{AB} составила 4,12 %, что на 9,6 % превышает показатели коров с LGB^{AA} (3,76 %) и на 3,3 % — с LGB^{BB} (3,99 %); экспрессия генотипа ВВ связана с повышением МДБ в молоке, МДБ в молоке коров с LGB^{BB} составила 3,09 %, данное значение больше на 2,3 % показателей коров с LGB^{AA} (3,02 %) и на 1,3 % — с LGB^{BB} (3,05 %).

Общая картина по стаду представлена следующими тенденциями: экспрессия генотипа АВ связана с повышением удоя, удой от коров с LGB^{AB} составил 6797 кг, что на 6,6 % больше, чем у коров с LGB^{AA} (6340 кг) и на 4,0 % чем у коров с LGB^{BB} (6496 кг), а также с повышением МДЖ в молоке. МДЖ молока коров с LGB^{AB} составила 3,73 %, что превышает данный показатель в молоке коров с LGB^{AA} (3,73 %) и с LGB^{BB} (4,03 %) на 8,3 и 0,2 % соответственно; экспрессия генотипа ВВ связана с повышением МДБ в молоке, так МДБ молока коров с LGB^{BB} составила 3,13 %, что больше на 1,6 %, чем в молоке коров с LGB^{AA} (3,08 %), и на 1,3 %, чем в молоке коров с LGB^{AB} (3,09 %).

Рекомендуется включение процедуры оценки полиморфизма гена LGB в комплекс мероприятий селекционной-производственной работы для повышения экономической эффективности предприятия. Подобный шаг также способствует дальнейшему, более комплексному изучению этого гена как селекционного маркера.

Библиографический список

1. *Indyk H.E., Hart S., Meerkerk T., Gill B.D., Woollard D.C.* The β -lactoglobulin content of bovine milk: Development and application of a biosensor immunoassay // *International Dairy Journal*. 2017. Vol. 73. P. 68–73. doi: 10.1016/j.idairyj.2017.05.010
2. *Федотова Н.В., Лозовая Г.С.* Полиморфизм бета-лактоглобулина и оценка молочной продуктивности черно-пестрых коров разных генотипов // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2011. № 6. С. 57–60.
3. *Погорельский И.А., Позовникова М.В.* Полиморфизм гена бета-лактоглобулина (BLG) в стаде крупного рогатого скота черно-пестрой породы и взаимосвязь его генотипов с показателями молочной продуктивности // *Генетика и разведение животных*. 2014. № 1. С. 45–47.
4. *Ахметов Т.М., Тюлькин С.В., Зарипов О.Г.* Полиморфизм гена бета-лактоглобулина в стадах крупного рогатого скота // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2010. Т. 202. С. 36–41.

5. Тюлькин С.В. Молочная продуктивность и качество молока коров с разными генотипами бета-лактоглобулина // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. 2018. № 1. С. 258–259.
6. Di Gregorio P, Di Grigoli A, Di Trana A, Alabiso M, Maniaci G, Rando A, Valluzzi C, Finizio D, Bonanno A. Effects of different genotypes at the CSN3 and LGB loci on milk and cheese making characteristics of the bovine Cinisara breed // *International Dairy Journal*. 2017. Vol. 71. P. 1–5. doi: 10.1016/j.idairyj.2016.11.001
7. Singh U, Deb R, Kumar S, Singh R, Sengar G, Sharma A. Association of prolactin and beta-lactoglobulin genes with milk production traits and somatic cell count among Indian Frieswal (HF × Sahiwal) cows // *Biomarkers and Genomic Medicine*. 2015. Vol. 7. № 1. P. 38–42. doi: 10.1016/j.bgm.2014.07.001
8. Kyselová J, Ječmínková K, Matějčková J, Hanuš O, Kott T, Štípková M, Krejčová M. Physiochemical characteristics and fermentation ability of milk from Czech Fleckvieh cows are related to genetic polymorphisms of β -casein, κ -casein, and β -lactoglobulin // *Asian-Australas J Anim Sci*. 2019. Vol. 32. P. 14–22. doi: 10.5713/ajas.17.0924
9. Долматова И.Ю., Гареева И.Т., Ильясов А.Г. Влияние полиморфных вариантов гена бета-лактоглобулина крупного рогатого скота на молочную продуктивность // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2010. № 1. С. 18–22.
10. Mahmoudi P, Rostamzadeh J, Rashidi A, Zergani E, Razmkabir M. A meta-analysis on association between CSN3 gene variants and milk yield and composition in cattle // *Animal Genetics*. 2020. Vol. 51. P. 369–381. doi/10.1111/age.12922
11. Рачкова Е.Н. Наследуемость молочной продуктивности в зависимости от полиморфизма гена бета-лактоглобулина // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2016. Т. 226. № 2. С. 209–213.
12. Тюлькин С.В. Влияние генотипа коров на их продуктивность и качество молока // *Пищевые системы*. 2018. Т. 1. № 3. С. 38–43. doi: 10.21323/2618-9771-2018-1-3-38-43
13. Павлова Н.И., Филиппова Н.П., Чугунов А.В., Додохов В.В. Полиморфизм генов CSN3, LGB и PRL у крупного рогатого скота, разводимого в Республике Саха (Якутия) // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 11. С. 103–106.
14. Калашишникова Л.А., Хабибрахманова Я.А., Багаль И.Е., Ялуга В.Л., Прожерин В.П. Оценка полиморфизма комплексных генотипов CSN3, LGB, PRL, GH, LEP и молочной продуктивности у холмогорских коров // *Молочное и мясное скотоводство*. 2019. № 2. С. 14–17.

References

1. Indyk HE, Hart S, Meerkerk T, Gill BD, Woollard DC. The β -lactoglobulin content of bovine milk: Development and application of a biosensor immunoassay. *International Dairy Journal*. 2017;73:68–73. doi: 10.1016/J.idairyj.2017.05.010
2. Fedotova NV, Lozovaya GS. Beta-lactoglobulin polymorphism and evaluation of milk productivity of black-and-white cows of different genotypes. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2011;(6):57–60. (In Russ.).
3. Pogorelskiy IA, Pozovnikova MV. Polymorphism of β -lactoglobulin gene in black and white cattle population and the effect of β -lactoglobulin gene on cow's milk productivity indicators. *Genetics and breeding of animals*. 2014;(1):45–47. (In Russ.).
4. Ahmetov TM, Tjulkin SV, Zaripov OG. Beta-lactoglobulin gene polymorphism in livestock herds. *Scientific notes Kazan Bauman state academy of veterinary medicine*. 2010;202:36–41. (In Russ.).
5. Tyulkin SV. Milk productivity and milk quality of cows with different beta-lactoglobulin genotypes. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya pamyati Vasiliya Matveevicha Gorbatova*. 2018;(1):258–259. (In Russ.).
6. Di Gregorio P, Di Grigoli A, Di Trana A, Alabiso M, Maniaci G, Rando A, et al. Effects of different genotypes at the CSN3 and LGB loci on milk and cheese making characteristics of the bovine Cinisara breed. *International Dairy Journal*. 2017;71:1–5. doi: 10.1016/j.idairyj.2016.11.001
7. Singh U, Deb R, Kumar S, Singh R, Sengar G, Sharma A. Association of prolactin and beta-lactoglobulin genes with milk production traits and somatic cell count among Indian Frieswal (HF × Sahiwal) cows. *Biomarkers and Genomic Medicine*. 2015;7(1):38–42. doi: 10.1016/j.bgm.2014.07.001
8. Kyselová J, Ječmínková K, Matějčková J, Hanuš O, Kott T, Štípková M, et al. Physiochemical characteristics and fermentation ability of milk from Czech Fleckvieh cows are related to genetic polymorphisms of β -casein,

κ-casein, and β-lactoglobulin. *Asian-Australas Journal of Animal Sciences*. 2019;32(1):14–22. doi: 10.5713/ajas.17.0924

9. Dolmatova IY, Gareeva IT, Ilyasov AG. Effects of genetic variants of beta-lactoglobulin gene in cattle milk production. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2010;(1):18–22. (In Russ.).

10. Mahmoudi P, Rostamzadeh J, Rashidi A, Zergani E, Razmkabir M. A meta-analysis on association between CSN3 gene variants and milk yield and composition in cattle. *Animal Genetics*. 2020;51(3):369–381. doi: 10.1111/age.12922

11. Rachkova EN. The heritability of milk productivity depending on polymorphism gene beta-lactoglobulin. *Scientific notes Kazan Bauman state academy of veterinary medicine*. 2016;226(2):209–213. (In Russ.).

12. Tyulkin SV. The effect of cows genotype on their productivity and milk quality. *Food systems*. 2018;1(3):38–43. (In Russ.). doi: 10.21323/2618–9771–2018–1–3–38–43

13. Pavlova NI, Filippova NP, Chugunov AV, Dodokhov VV. Polymorphism of CSN3, LGB and PRL genes of cattle, bred in the Sakha (Yakutia) republic. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2016;30(11):103–106. (In Russ.).

14. Kalashnikova LA, Khabibrakhmanova YA, Bagal IE, Yaluga VL, Prozherin VP. Assessment of polymorphism of complex genotypes CSN3, LGB, PRL, GH, LEP and dairy productivity in Kholmogory cows. *Dairy and meat cattle breeding*. 2019;(2):14–17. (In Russ.).

Об авторах:

Худякова Наталья Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru
ORCID: 0000–0003–1302–2965 SPIN: 3906–2286

Щипакова Екатерина Николаевна — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; e-mail: schipakova.katerina@yandex.ru
ORCID: 0009–0007–6952–9665 SPIN: 8931–0882

Кашин Андрей Сергеевич — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; e-mail: a9523005321@yandex.ru
ORCID: 0009–0004–1155–0339 SPIN: 8130–4713

About authors:

Khudyakova Natalya Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoi vil., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru
ORCID: 0000–0003–1302–2965 SPIN-code: 3906–2286

Shchipakova Ekaterina Nikolaevna — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoi vil., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: schipakova.katerina@yandex.ru
ORCID: 0009–0007–6952–9665 SPIN-code: 8931–0882

Kashin Andrey Sergeevich — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoi vil., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: a9523005321@yandex.ru
ORCID: 0009–0004–1155–0339 SPIN-code: 8130–4713



Ветеринария Veterinary science

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-337-348

EDN: IAJBRT

УДК 619:618.96:569.822.2-086

Научная статья / Research article

Клинико-инструментальные особенности кардиоренального синдрома у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек

В.М. Бяхова  , О.А. Петрухина ,
Е.А. Нотина , И.А. Быкова 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

 byakhova-vm@rudn.ru

Аннотация. Приведены новые данные относительно динамики изменений клинико-инструментальных показателей при возникновении кардиоренального синдрома у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек. Показано, что у высокопородистых кошек при развитии синдрома застойной сердечно-сосудистой недостаточности может развиваться и прогрессировать вторичное повреждение почек, что значительно осложняет течение первичного патологического процесса. Впервые установлено, что кардиоренальный синдром встречается у 51,0% особей от общего числа больных гипертрофической кардиомиопатией кошек ($n = 49$). Доказано, что кардиоренальный континуум у кошек являются предиктором более тяжелого течения гипертрофической кардиомиопатии. Обусловленный концентрической гипертрофией сердца кардиоренальный синдром у домашних кошек характеризуется диспноэ, гипотермией и недостаточностью функции кровообращения. У больных кошек диагностировали статистически значимое повышение медианы частоты дыхания во сне до 34,0 раз/мин ($p < 0,001$) по сравнению с клинически здоровыми животными (18,0 раз/мин). У больных гипертрофической кардиомиопатией кошек при кардиоренальном синдроме развивается статистически значимое ($p < 0,001$) повышение медианы уровня среднего артериального давления крови до 140,0 мм. рт. ст. по сравнению с клинически здоровыми животными (104,0 мм. рт. ст.),

© Бяхова В.М., Петрухина О.А., Нотина Е.А., Быкова И.А., 2024

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

синусовая тахикардия — 199,0 раз/мин (171,5 раз/мин у здоровых кошек), что приводит к статистически значимому ($p < 0,001$) снижению продолжительности интервалов PQ 67,0 мс (75,5 мс у здоровых кошек) и повышению интервала QT 204,0 мс (165,5 мс у здоровых кошек). На электрокардиограммах больных гипертрофической кардиомиопатией кошек при кардиоренальном синдроме выявлены признаки ухудшения внутрисердечной и внутрижелудочковой проводимости, отмечается повышение амплитуды вентрикулярного комплекса. На эхокардиограммах больных кошек верифицированы такие изменения, как дилатация максимального диаметра легочной вены, выраженное расширение переднезаднего размера левого предсердия, гипертрофия миокарда межжелудочковой перегородки и свободной стенки левого желудочка, снижение продольной контрактильности левого и правого желудочка, а также клинически значимая диастолическая дисфункция.

Ключевые слова: кардиология, эхокардиография, электрокардиография, диагностика, сердечная недостаточность, нефропатия, кардиоренальный континуум

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

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24–26–00090, <https://rscf.ru/project/24-26-00090/>

История статьи: поступила в редакцию 6 февраля 2024 г., принята к публикации 7 марта 2024 г.

Для цитирования: Бяхова В.М., Петрухина О.А., Нотина Е.А., Быхова И.А. Клинико-инструментальные особенности кардиоренального синдрома у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 337–348. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-337-348

Clinical and instrumental features of cardiorenal syndrome in cats with hypertrophic cardiomyopathy

Varvara M. Byakhova  , Olesya A. Petrukhina ,
Elena A. Notina , Irina A. Bykova 

RUDN University, Moscow, Russian Federation
 byakhova-vm@rudn.ru

Abstract. This research presents novel insights into the temporal dynamics of clinical and instrumental parameters pertaining to the emergence of cardiorenal syndrome in feline patients afflicted with hypertrophic cardiomyopathy. It elucidates that within pedigreed felines, the progression of congestive heart failure syndrome may precipitate the subsequent evolution and exacerbation of secondary renal damage, thus significantly complicating the trajectory of the primary pathological process. This study establishes, for the first time, the prevalence of cardiorenal syndrome, affecting 51.0% of the population within the broader cohort of cats afflicted with hypertrophic cardiomyopathy ($n = 49$). Moreover, it substantiates the role of the cardiorenal continuum in felines as a predictor of a more severe course of hypertrophic cardiomyopathy. Manifesting as concentric myocardial hypertrophy in domestic felines, cardiorenal syndrome is characterized by dyspnea, hypothermia, and circulatory insufficiency. Statistically significant findings include an elevated median nocturnal respiratory rate of 34.0 breaths/min ($p < 0.001$) compared to clinically healthy counterparts (18.0 breaths/min) in affected felines. Additionally, felines afflicted with hypertrophic cardiomyopathy and cardiorenal syndrome exhibit a statistically significant ($p < 0.001$) elevation in median mean arterial blood pressure to 140.0 mmHg compared to clinically healthy counterparts (104.0 mmHg), sinus tachycardia at 199.0 beats/min (171.5 beats/min

in healthy felines), resulting in a statistically significant ($p < 0.001$) reduction in PQ intervals by 67.0 ms (75.5 ms in healthy felines), and an increase in QT interval by 204.0 ms (165.5 ms in healthy felines). Electrocardiographic assessments reveal indications of compromised intra-atrial and intraventricular conduction in hypertrophic cardiomyopathy-afflicted felines with cardiorenal syndrome, along with an augmented amplitude of the ventricular complex. Echocardiographic evaluations confirm alterations such as pulmonary vein dilation, pronounced left atrial anteroposterior enlargement, interventricular septal and left ventricular free wall hypertrophy, decreased longitudinal contractility of the left and right ventricles, and clinically significant diastolic dysfunction.

Keywords: cardiology, echocardiography, electrocardiography, diagnostics, heart failure, nephropathy, cardiorenal continuum

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Funding. The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24–26–00090, <https://rscf.ru/project/24–26–00090/>

Article history: Received: 6 February 2024. Accepted: 7 March 2024.

For citation: Byakhova VM, Petrukhina OA, Notina EA, Bykova IA. Clinical and instrumental features of cardiorenal syndrome in patients with feline hypertrophic cardiomyopathy. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):337–348. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-337-348

Введение

Полиморбидные патологии у домашних животных регистрируются все чаще и чаще [1]. Болезни почек и сердечно-сосудистой системы являются основной причиной смертности у домашних кошек [2–4]. Застойная сердечная недостаточность может приводить к поражению почек и, наоборот, хроническая болезнь почек нередко обуславливает развитие сердечно-сосудистой недостаточности [5–9]. Наличие указанной выше коморбидности привело к формированию в ветеринарной кардиологии и нефрологии гипотетической концепции развития кардиоренального синдрома как одновременного нарушения структурно-функциональных характеристик почек и сердца, что приводит к значительному увеличению показателей смертности у больных животных в сравнении с общей популяцией [10–14]. Высокий риск осложнений определяет необходимость разработки инновационных способов ранней диагностики поражения почек и сердца при кардиоренальном синдроме с целью совершенствования терапевтических подходов и стратегий [15–20].

Гипертрофическая кардиомиопатия у кошек часто регистрируется в клинической практике, нередко приводит к хронической недостаточности функции кровообращения и может обусловить развитие кардиоренальных осложнений. Следует отметить, что механизмы формирования, прогрессирования кардиоренального синдрома у кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией, практически не изучены и не освещены в научной литературе.

Цель исследования — определить клинические и инструментальные характеристики и патогенетические механизмы развития кардиоренального синдрома у кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией.

Материалы и методы исследования

В исследование вошли кошки, больные гипертрофической кардиомиопатией, осложненной кардиоренальным синдромом (группа II, $n = 25$), а также свободные от кардиоренальных осложнений (группа I, $n = 24$). Проводили верификацию диагноза при гипертрофической кардиомиопатии с применением комплексного подхода [2, 9]. Кардиоренальный синдром диагностировали при наличии стойкой азотемии (сывороточная концентрация креатинина ≥ 200 мкмоль/л). В качестве контрольной группы использовали здоровых кошек ($n = 24$) аналогичного возраста, массы тела. Применяли общепринятые методы клинической диагностики [3, 13]. У всех кошек проводили оценку дыхательной функции [2]. Тонometriю осуществляли прибором PetMAP graphic II [9]. Рассчитывали среднее артериальное давление [9, 14]. Электрокардиограммы регистрировали прибором ЭК1Т-04 Мидас [9]. Эхокардиографию проводили на аппарате Mindray DP-60 с трансдьюсером P10-4E [13, 17]. Измеряли размер легочной вены (ЛВ) и правой ветви легочной артерии (ПВЛА) [9, 12]. Диастолический и систолический размер межжелудочковой перегородки (МЖПд и МЖПс), диастолический и систолический размер свободной стенки левого желудочка (ССЛЖд и ССЛЖс); конечнодиастолический и конечно-систолический размер левого желудочка (КДР и КСР). Фракцию укорочения (ФУ) миокарда левого желудочка рассчитывали по общеизвестной методике [16, 17].

Статистический анализ проводили с использованием программы STATISTICA 7.0 [9]. Применяли критерий Манна — Уитни и Крускала — Уоллиса, рассчитывали медиану Me и интерквартильный размах IQ .

Результаты исследования и обсуждение

В нашем исследовании кардиоренальный синдром был зарегистрирован у 25 из 49 кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией, что составило 51,0 %. При этом медиана сывороточной концентрации креатинина у здоровых кошек составила 106,5 мкмоль/л (IQ 93,0...136,5); у животных I группы — 135,0 мкмоль/л (IQ 121,0...147,0), у животных II группы — 290 мкмоль/л (IQ 257,0...313,0).

Анализом Крускала — Уоллиса в отношении таких клинических показателей, как температура тела, частота пульса, дыхания, дыхательных движений во сне, систолического, диастолического и среднего артериального давления крови, установлены высокие значения H при высоком уровне достоверности полученных результатов ($H \geq 21,9$; $p < 0,001$). Это говорит о том, что клинические параметры у кошек разных опытных групп не относятся к одной генеральной совокупности и требуется проведение детального межгруппового статистического сравнения. У больных неосложненными формами гипертрофической кардиомиопатии кошек, по сравнению с клинически здоровыми, регистрировали гипотермию, тахикардию, тахипноэ и повышение частоты дыхательных движений во время сна, а также уровня систолического, диастолического и среднего артериального давления (табл. 1).

Клинические показатели у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек, осложненной кардиоренальным синдромом

Показатель	Группы животных						Критерий Крускала – Уоллиса
	Контроль (n = 24)		I (n = 24)		II (n = 25)		
	Me	IQ	Me	IQ	Me	IQ	
Дыхание, мин ⁻¹	33,0	31,0...35,0	46,0 ***	40,5...50,0	65,0 *** ###	58,0...69,0	H = 59,7 p < 0,001
Температура, °C	38,6	38,4...38,7	38,2 ***	37,9...38,3	36,9 *** ###	36,8...37,2	H = 51,6 p < 0,001
Пульс, мин ⁻¹	171,5	145,5...187,0	192,5 ***	182,5... 203,5	199,0 ***	192,0...227,0	H = 26,7 p < 0,001
САД, мм. рт. ст.	165,0	148,5...174,0	193,5 ***	176,5... 204,0	214,0 ***	162,0...231,0	H = 22,5 p < 0,001
ДАД, мм. рт. ст.	75,0	69,0...83,0	105,0 ***	92,0...115,0	105,0 ***	85,0...125,0	H = 21,9 p < 0,001
СрАД, мм. рт. ст.	104,0	98,0...110,5	133,0 ***	121,0... 141,5	140,0 ***	117,0...165,0	H = 23,5 p < 0,001
Дыхание во сне, мин ⁻¹	18,0	15,5...20,5	28,5 ***	24,5...32,0	34,0 *** ###	32,0...38,0	H = 49,1 p < 0,001

Примечание. I группа – кошки, больные гипертрофической кардиомиопатией без кардиоренальных осложнений; II группа – кошки, больные гипертрофической кардиомиопатией, осложненной кардиоренальным синдромом; Me – медиана; IQ – интерквартильный размах; *** – $p < 0,001$ – достоверность разницы между показателями I, II группы и клинически здоровыми животными (критерий Манна – Уитни); ### – $p < 0,001$ – достоверность разницы между показателями I и II группы животных (критерий Манна – Уитни); САД – систолическое артериальное давление крови; ДАД – диастолическое давление крови; СрАД – среднее артериальное давление крови.

У больных гипертрофической кардиомиопатией кошек, осложненной кардиоренальным синдромом, по сравнению с клинически здоровыми отмечали достоверное снижение температуры тела (в 1,05 раза; $p < 0,001$), повышение частоты пульса (в 1,16 раза; $p < 0,001$), дыхания (в 1,96 раза; $p < 0,001$) и дыхательных движений во время сна (в 1,89 раза; $p < 0,001$), систолического (в 1,29 раза; $p < 0,001$), диастолического (в 1,4 раза; $p < 0,001$) и среднего артериального давления (в 1,35 раза; $p < 0,001$). Вместе с тем, у животных, больных осложненной кардиоренальным синдромом гипертрофической кардиомиопатией, по сравнению с больными кошками без такого осложнения, установили достоверное снижение температуры тела (в 1,04 раза; $p < 0,001$), повышение частоты дыхания на осмотре в клинике (в 1,44 раза; $p < 0,001$) и в период сна (в 1,19 раза; $p < 0,001$).

Изменения электрокардиографических параметров у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек при развитии кардиоренального синдрома приведены в табл. 2.

Таблица 2

Электрокардиографические показатели у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек, осложненной кардиоренальным синдромом

Показатель	Группы животных						Критерий Крускала – Уоллиса
	Контроль (n = 24)		I (n = 24)		II (n = 25)		
	Me	IQ	Me	IQ	Me	IQ	
P _{II} , мВ	0,100	0,075...0,150	0,200 ***	0,150...0,200	0,200 ***	0,150...0,200	H = 18,8 p < 0,001
P, мс	33,0	32,0...36,5	37,0	32,5...40,0	37,0 **	35,0...40,0	H = 8,7 p < 0,05
PQ, мс	75,5	71,0...78,0	65,5 ***	59,5...70,5	67,0 **	64,0...72,0	H = 18,1 p < 0,001
R _{II} , мВ	0,580	0,470...0,665	0,800 ***	0,700...0,900	0,980 *** #	0,650...1,270	H = 21,1 p < 0,001
QRS, мс	40,0	38,5...43,5	38,5	35,0...45,5	44,0 *** ###	47,0...52,0	H = 21,4 p < 0,001
ST, мВ	0,00	0,00...0,00	0,00	0,025...0,00	0,00	0,050...0,050	H = 0,4 p < 1
QT, мс	165,5	146,5...193,5	181,0	173,0...198,0	204,0 **	175,0...220,0	H = 8,4 p < 0,05
T _{II} , мВ	0,100	0,100...0,150	0,100	0,100...0,175	0,150 #	0,100...0,200	H = 5,1 p < 0,1

Примечание. I группа – кошки, больные гипертрофической кардиомиопатией без кардиоренальных осложнений; II группа – кошки, больные гипертрофической кардиомиопатией, осложненной кардиоренальным синдромом; Me – медиана; IQ – интерквартильный размах; ** – p < 0,01; *** – p < 0,001 – достоверность разницы между показателями I, II группы и клинически здоровыми животными (критерий Манна – Уитни); # – p < 0,05; ### – p < 0,001 – достоверность разницы между показателями I и II группы животных (критерий Манна – Уитни); P – продолжительность зубца P; PQ – продолжительность интервала P-Q; QRS – продолжительность желудочкового комплекса; QT – электрическая систола желудочков; P_{II}, R_{II}, T_{II} – амплитуда зубцов P, R и T во втором стандартном отведении электрокардиограммы; ST – отклонение сегмента ST от изолинии.

Анализ Крускала – Уоллиса показал, что продолжительность предсердного комплекса (зубец P) существенно отличается у животных разных групп (H = 8,7; p < 0,05). Так, у кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией, осложненной кардиоренальным синдромом, по сравнению с клинически здоровыми отмечали

достоверное увеличение продолжительности зубца Р в 1,12 раза ($p < 0,05$). Высокие значения показателя *H* анализа Крускала — Уоллиса были выявлены также в отношении следующих электрокардиографических параметров: продолжительность интервала PQ и QT, комплекса QRS, амплитуда зубцов Р и R во втором стандартном отклонении.

У кошек, больных неосложненными формами гипертрофической кардиомиопатии, по сравнению с клинически здоровыми отмечали достоверное уменьшение времени атриовентрикулярного проведения (интервал PQ, в 1,15 раза; $p < 0,001$), увеличение амплитуды зубцов Р (в 2,0 раза; $p < 0,001$) и R (в 1,48 раза; $p < 0,001$) во втором стандартном отведении. У кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией, осложненной кардиоренальным синдромом, по сравнению с клинически здоровыми отмечали достоверное уменьшение интервала PQ (в 1,13 раза; $p < 0,001$), увеличение продолжительности комплекса QRS (в 1,10 раза; $p < 0,001$) и интервала QT (в 1,23 раза; $p < 0,01$), увеличение амплитуды зубцов Р (в 2,0 раза; $p < 0,001$) и R (в 1,69 раза; $p < 0,001$) во втором стандартном отведении. У кошек, больных осложненной кардиоренальным синдромом гипертрофической кардиомиопатией, по сравнению с больными кошками без такого осложнения установили достоверное увеличение продолжительности комплекса QRS (в 1,14 раза; $p < 0,001$), амплитуды зубца R (в 1,23 раза; $p < 0,05$) и T (в 1,5 раза; $p < 0,05$).

Согласно критерию Крускала — Уоллиса, установлены статистически значимые отклонения у кошек разных групп в отношении ряда эхокардиографических параметров: ЛВ, ПВЛА, ЛП, ЛП/АО, МЖПд, МЖПс, ССЛЖд, ССЛЖс, КДР, КСР (табл. 3). Межгрупповым сравнением также были выявлены достоверные изменения в отношении указанных показателей. Так, у кошек, больных неосложненными формами гипертрофической кардиомиопатии, по сравнению с клинически здоровыми отмечали достоверное увеличение размера ЛВ (в 2,39 раза; $p < 0,001$), ЛП (в 1,38 раза; $p < 0,001$), ЛП/АО (в 1,42 раза; $p < 0,001$), МЖПд (в 1,63 раза; $p < 0,001$), МЖПс (в 1,36 раза; $p < 0,001$), ССЛЖд (в 1,61 раза; $p < 0,001$), ССЛЖс (в 1,31 раза; $p < 0,001$), а также достоверное снижение КДР (в 1,33 раза; $p < 0,001$), КСР (в 1,27 раза; $p < 0,001$). У кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией, осложненной кардиоренальным синдромом, по сравнению с клинически здоровыми отмечали достоверное увеличение размера ЛВ (в 2,5 раза; $p < 0,001$), ЛП (в 1,96 раза; $p < 0,001$), ЛП/АО (в 2,0 раза; $p < 0,001$), МЖПд (в 1,88 раза; $p < 0,001$), МЖПс (в 1,54 раза; $p < 0,001$), ССЛЖд (в 1,71 раза; $p < 0,001$), ССЛЖс (в 1,49 раза; $p < 0,001$), а также достоверное снижение КДР (в 1,78 раза; $p < 0,001$), КСР (в 1,75 раза; $p < 0,001$). У кошек, больных осложненной кардиоренальным синдромом гипертрофической кардиомиопатией, по сравнению с больными кошками без такого осложнения установили достоверное увеличение показателя ЛП (в 1,42 раза; $p < 0,001$), ЛП/АО (в 1,41 раза; $p < 0,001$), МЖПд (в 1,15 раза; $p < 0,01$), МЖПс (в 1,13 раза; $p < 0,01$), ССЛЖд (в 1,06 раза; $p < 0,05$), ССЛЖс (в 1,14 раза; $p < 0,05$), достоверное уменьшение КДР (в 1,33 раза; $p < 0,01$) и КСР (в 1,38 раза; $p < 0,05$).

Базовые эхокардиографические показатели у кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией, осложненной кардиоренальным синдромом

Показатель	Группы животных						Критерий Крускала – Уоллиса
	Контроль (n = 24)		I (n = 24)		II (n = 25)		
	Me	IQ	Me	IQ	Me	IQ	
ЛВ, см	0,28	0,24...0,36	0,67 ***	0,59...0,73	0,70 ***	0,63...0,80	H = 44,2 p < 0,001
ПВЛА, см	0,58	0,54...0,62	0,52	0,47...0,58	0,51	0,45...0,56	H = 8,2 p < 0,05
ЛП, см	1,12	1,01...1,24	1,55 ***	1,40...2,05	2,20 *** ###	1,90...2,40	H = 50,2 p < 0,001
АО, см	0,95	0,80...1,10	1,00	0,90...1,10	1,00	0,80...1,10	H = 0,57 p < 1
ЛП/АО, ед	1,20	1,10...1,30	1,70 ***	1,40...2,20	2,40 *** ###	2,00...2,60	H = 46,0 p < 0,001
МЖПд, см	0,40	0,35...0,42	0,65 ***	0,59...0,72	0,75 *** ##	0,65...0,85	H = 51,4 p < 0,001
МЖПс, см	0,61	0,59...0,66	0,83 ***	0,74...0,90	0,94 *** ##	0,89...1,00	H = 46,1 p < 0,001
ССЛЖд, см	0,41	0,40...0,45	0,66 ***	0,59...0,73	0,70 *** #	0,65...0,80	H = 48,7 p < 0,001
ССЛЖс, см	0,67	0,61...0,72	0,88 ***	0,80...0,95	1,00 *** ##	0,90...1,10	H = 37,9 p < 0,001
КДР, см	1,60	1,40...1,70	1,20 ***	1,00...1,40	0,90 *** ##	0,8...1,10	H = 35,2 p < 0,001
КСР, см	0,70	0,60...0,80	0,55 ***	0,40...0,60	0,40 *** #	0,30...0,50	H = 26,5 p < 0,001
ФУ, %	52,50	43,50...61,50	57,00	46,00...65,50	50,00	38,00...70,00	H = 0,8 p < 1

Примечание. I группа – кошки, больные гипертрофической кардиомиопатией без кардиоренальных осложнений; II группа – кошки, больные гипертрофической кардиомиопатией, осложненной кардиоренальным синдромом; Me – медиана; IQ – интерквартильный размах; *** – $p < 0,001$ – достоверность разницы между показателями I, II группы и клинически здоровыми животными (критерий Манна – Уитни); # – $p < 0,05$; ## – $p < 0,01$; ### – $p < 0,001$ – достоверность разницы между показателями I и II группы животных (критерий Манна – Уитни); ЛВ – легочная вена; ПВЛА – правая ветвь легочной артерии; ЛП – левое предсердие; АО – аорта; МЖПд и МЖПс – диастолический и систолический размер межжелудочковой перегородки; ССЛЖд и ССЛЖс – диастолический и систолический размер свободной стенки левого желудочка; КДР и КСР – конечнодиастолический и конечно систолический размер левого желудочка; ФУ – фракция укорочения.

Анализом Крускала — Уоллиса установлены достоверные различия в отношении эхокардиографических параметров, характеризующих диастолическую функцию и продольную сократимость сердца у кошек, больных кардиоренальным синдромом при первичной гипертрофической кардиомиопатии (табл. 4).

Таблица 4

Показатели диастолической функции и продольной сократимости миокарда у кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией, осложненной кардиоренальным синдромом

Показатель	Группы животных						Критерий Крускала — Уоллиса
	Контроль (n = 24)		I (n = 24)		II (n = 25)		
	Me	IQ	Me	IQ	Me	IQ	
E, м/с	0,70	0,60...0,80	1,10 ***	0,95...1,30	1,50 *** ##	1,10...1,70	H = 46,7 p < 0,001
A, м/с	0,55	0,45...0,60	0,75 ***	0,65...0,80	0,60 #	0,40...0,70	H = 14,5 p < 0,001
IVRT, мс	54,50	45,0...56,50	29,50 ***	22,0...38,0	18,00 *** ###	15,00...23,00	H = 51,6 p < 0,001
TAPSE, см	9,50	8,00...11,00	6,00 ***	5,00...6,00	4,00 *** ##	4,00...5,00	H = 34,9 p < 0,001
MAPSE, см	5,00	5,00...6,00	4,00	2,50...5,00	3,00	2,00...4,00	H = 21,1 p < 0,001

Примечание. I группа — кошки, больные гипертрофической кардиомиопатией без кардиоренальных осложнений; II группа — кошки, больные гипертрофической кардиомиопатией, осложненной кардиоренальным синдромом; Me — медиана; IQ — интерквартильный размах; *** — $p < 0,001$ — достоверность разницы между показателями I, II группы и клинически здоровыми животными (критерий Манна — Уитни); # — $p < 0,05$; ## — $p < 0,01$; ### — $p < 0,001$ — достоверность разницы между показателями I и II группы животных (критерий Манна — Уитни); E и A — пики скоростей в раннюю диастолу и фазу предсердной подкачки; IVRT — время изоволюмического расслабления левого желудочка; TAPSE и MAPSE — амплитуда переднесистолического движения фиброзного кольца трикуспидального и митрального клапанов.

У кошек, больных неосложненными формами гипертрофической кардиомиопатии, по сравнению с клинически здоровыми отмечали достоверное увеличение пика E (в 1,57 раза; $p < 0,001$) и A (в 1,36 раза; $p < 0,001$), скорости трансмитрального потока крови, снижение IVRT (в 1,85 раза; $p < 0,001$) и TAPSE (в 1,58 раза; $p < 0,001$). У кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией, осложненной кардиоренальным синдромом, по сравнению с клинически здоровыми отмечали достоверное увеличение пика E (в 2,14 раза; $p < 0,001$), скорости трансмитрального потока крови, снижение IVRT (в 3,03 раза; $p < 0,001$) и TAPSE (в 2,38 раза; $p < 0,001$). У больных осложненной кардиоренальным синдромом гипертрофической кардиомиопатией кошек по сравнению с больными кошками без такого осложнения установили достоверное

увеличение пика E (в 1,36 раза; $p < 0,01$), уменьшение пика A (в 1,27 раза; $p < 0,05$) скорости трансмитрального потока крови, снижение IVRT (в 1,64 раза; $p < 0,001$) и TAPSE (в 1,5 раза; $p < 0,01$).

Кардиоренальный синдром представляет собой коморбидное нарушение структурно-функциональных характеристик почек и сердца, при котором повреждение одного из вышеуказанных органов инициирует альтеративные патогенетические механизмы в другом органе [6, 15].

Важным в развитии кардиоренального синдрома можно считать нарушения гемодинамики, азотемию, поражение сосудов сердца и почек, дисфункцию эндотелия, нейрогуморальные нарушения, анемический синдром, нарушение метаболизма железа [3–5], а также минерального обмена, недостаточность питательных веществ и развитие кахексии [6].

У больных животных наличие осложнений в виде кардиоренального синдрома приводило к развитию более значимой гипотермии, тахикардии, тахипноэ, артериальной гипертензии. Данные изменения можно интерпретировать как проявления более тяжелой сердечной дисфункции и недостаточности функции кровообращения [17]. Очевидно, что у кошек при развитии кардиоренального синдрома происходит более значимая активизация нейрогуморальной системы (ренина, ангиотензина II, альдостерона, симпатическая нервная система), что приводит к прогрессированию сердечно-сосудистой недостаточности, ухудшению системной гемодинамики, снижению почечного кровообращения и нарушению выделительной функции почек. У кошек, больных кардиоренальным синдромом, наблюдается более значимое замедление внутрипредсердной и внутрижелудочковой проводимости, а также повышение вольтажа желудочкового комплекса и зубца T, что можно объяснить развитием гипертрофии сердца.

У больных гипертрофической кардиомиопатией кошек при кардиоренальном синдроме отмечается более значимое расширение легочной вены и левого предсердия, что указывает на более тяжелое течение левожелудочковой сердечной недостаточности и свидетельствует о наличии гиперемии и отека легких. На наличие тяжелых застойных явлений в легких у больных кардиоренальным синдромом кошек также свидетельствует значительное повышение частоты дыхания во сне, что в значительной степени коррелируется с другими исследованиями [2, 3, 14].

Степень миокардиальной гипертрофии также была более выражена у кошек при развитии кардиоренального синдрома. Поперечная контрактильность миокарда левого желудочка у больных кошек достоверно не изменялась. При этом продольная контрактильность миокарда левого (MAPSE) и правого желудочка (TAPSE) достоверно снижалась, что свидетельствует о наличии систолической дисфункции. У всех кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией, осложненной кардиоренальным синдромом, отмечали выраженную диастолическую дисфункцию миокарда левого желудочка, что выражалась в достоверном увеличении пика E трансмитрального кровотока и снижением времени изоволюмического расслабления. Эти данные были получены нами впервые.

Таким образом, наличие кардиоренального синдрома у кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией, можно считать потенциальным предиктором неблагоприятного течения патологического процесса. Необходимо продолжить дальнейшее изучение патогенетических механизмов формирования кардиоренального континуума у животных с первичной как кардиальной, так и почечной патологией. Впервые описанные нами особенности формирования кардиоренальных взаимоотношений у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек могут иметь огромное значение практической ветеринарной медицины для своевременной диагностики данного осложнения, что позволит подобрать оптимальную программу кардионефропротекции и улучшить показатели выживаемости больных животных.

Заключение

Наличие кардиоренального синдрома является прогностическим маркером более тяжелого течения гипертрофической кардиомиопатии у кошек. Кардиоренальные осложнения у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек встречаются с частотой 51,0 %, характеризуются азотемией, синдромом застойной левожелудочковой сердечной недостаточности, тяжелым течением, гипотермией, тахипноэ, повышением частоты дыхания во сне, тахикардией, замедлением внутрисердечной и внутривентрикулярной проводимости, повышением вольтажа предсердного и желудочкового комплекса на электрокардиограммах. Эхокардиографией при кардиоренальном синдроме у кошек верифицируют наличие значительной дилатации легочной вены, расширение левого предсердия, концентрической гипертрофии свободной стенки левого желудочка и межжелудочковой перегородки, нормальную поперечную контрактильность миокарда сердца при одновременной снижении показателей продольной сократимости миокарда левого и правого желудочка.

Список литературы

1. Ватников Ю.А., Сотникова Е.Д., Бяхова В.М., Петрухина О.А., Матвеев А.В., Родионова Н.Ю., Руденко А.А. Особенности развития гепатокардиального синдрома у собак с дилатационной кардиомиопатией // Ветеринария. 2022. № 10. С. 52–57. doi: 10.30896/0042–4846.2022.25.10.52–57
2. Руденко А.А. Оценка частоты дыхания во время сна у кошек с застойной сердечной недостаточностью: степень приверженности к данному тесту владельцев животных и ее влияние на выживаемость пациентов // Российский ветеринарный журнал. 2018. № 4. С. 9–14. doi: 10.32416/article_5bd1c1f917fda5.38468318
3. Руденко А.А. Показатели специфического клеточного иммунитета у собак с дилатационной кардиомиопатией // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2018. № 6. С. 21–27.
4. Инатуллаева, Л.Б., Ватников Ю.А., Вилковский И.Ф., Воронина Ю.Ю. Гистологические изменения в почках при хронической болезни почек у кошек, связанные с отложением амилоида // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2017. № 5. С. 25–31.
5. Шутов А.М., Серов В.А. Кардиоренальный континуум или кардиоренальный синдром? // Клиническая нефрология. 2010. № 1. С. 44–48.
6. Руденко Т.Е., Кутырина И.М., Швецов М.Ю., Шилов Е.М., Новикова М.С. Терапевтические стратегии лечения кардиоренального синдрома // Лечащий врач. 2012. № 1. С. 71.
7. Ефремова Е.В., Шутов А.М., Подусов А.С., Трошина И.Ю., Сакаева Э.Р. Оценка коморбидности у больных с хроническим кардиоренальным синдромом // Нефрология. 2019. Т. 23 (приложение 1). С. 26–27. doi: 10.36485/1561–6274–2019–23–5–18–43
8. Авдошина С.В., Ефремовцева М.А., Виллевалде С.В., Кобалава Ж.Д. Острый кардиоренальный синдром: эпидемиология, патогенез, диагностика и лечение // Клиническая фармакология и терапия. 2013. Т. 22. № 4. С. 11–17.

9. Сотникова Е.Д., Петрухина О.А., Бяхова В.М., Сибирицев В.Д. Особенности течения гепатокардиального синдрома у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 264–272. doi: 10.22363/2312–797X-2023–18–2–264–272
10. Сибирицев В.Д. Механизмы формирования диастолической дисфункции левого желудочка сердца у животных и ее роль в развитии диастолической сердечной недостаточности // Сборник научных трудов двенадцатой междунар. межвузовской конф. по клинической ветеринарии в формате Partners: материалы конференции, Москва, 17–18 ноября 2022 г. М.: Сельскохозяйственные технологии, 2022. С. 227–235.
11. Шутеева Ю.А., Марюшина Т.О. Изучение нарушения электролитного баланса у кошек с гипертрофической кардиомиопатией // Молодежный научный форум: естественные и медицинские науки. 2017. № 4 (43). С. 167–172.
12. Хрущева В.П., Клетикова Л.В., Шумаков В.В., Мартынов А.Н. Диапазон сердечного тропонина I у кошек с осложненной кардиомиопатией // Иппология и ветеринария. 2021. № 1 (39). С. 224–230.
13. Карпенко Л.Ю., Козицына А.И., Бахта А.А., Полистовская П.А. Прогностические критерии оценки течения гипертрофической кардиомиопатии у кошек // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. 2022. № 1. С. 44–46. doi: 10.52419/issn2782–6252.2022.1.44
14. Фан В.Т.Ф., Концевая С.Ю., Орлов С.М. Ретроспективная оценка заболевания кардиомиопатией у 27 кошек с сердечной недостаточностью // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2022. № 4 (56). С. 26–32. doi: 10.24412/2074–5036–2022–4–26–32 EDN CVNHUC
15. Коткина К.А., Богданова М.А., Хохлова С.Н. Диагностика гипертрофической кардиомиопатии у кошек // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: Материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию Ульяновского ГАУ, Ульяновск, 23 июня 2023 г. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2023. С. 951–955.
16. Десятерик Е.В., Никулин И.А. Диагностика гипертрофической кардиомиопатии у кошек // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. трудов по материалам междунар. науч.-практ. конф., посв. 90-летию со дня рожд. доктора биол. наук, профессора, заслуженного работника высшей школы РФ, почетного работника высшего профессионального образования РФ, почетного профессора Брянской ГСХА, почетного гражданина Брянской области Егора Павловича Ващекина, Брянск, 24 января 2023 г. Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2023. С. 94–96.
17. Костылев В.А., Гончарова А.В. Эхокардиографическая характеристика гипертрофической кардиомиопатии кошек породы мейн-кун // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии, биотехнологии и экспертизы сырья и продуктов животного происхождения: сб. трудов науч.-практ. конф., Москва, 8 ноября 2022 г. / под общ. ред. С.В. Полябина, Л.А. Гнездиловой. М.: Сельскохозяйственные технологии, 2022. С. 100–102.
18. Коваленко А.А., Столбова О.А. Гипертрофическая кардиомиопатия у кошек // Перспективные разработки и прорывные технологии в АПК: сб. материалов национ. науч.-практ. конф., Тюмень, 21–23 октября 2020 г. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2020. С. 63–68.
19. Сорокина С.А., Самсонова Т.С. Этапы и эффективность диагностики гипертрофической кардиомиопатии у кошек // Поколение будущего: сборник статей междунар. студенческой науч. конф., Санкт-Петербург, 31 января 2019 г. Санкт-Петербург: ГНИИ «Нацразвитие», 2019. С. 44–52.
20. Манухина Н.А., Кочуева Н.А. Электрокардиография у кошек с гипертрофической кардиомиопатией // Актуальные вопросы АПК: сб. статей заочной междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Кострома, 4 мая 2016 г. / Костромская государственная сельскохозяйственная академия. Кострома: Костромская гос. сельскохозяй. академия, 2016. С. 73–75.

Об авторах:

Бяхова Варвара Михайловна — кандидат ветеринарных наук, доцент департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: byakhova-vm@rudn.ru
ORCID: 0000–0001–6041–2144 SPIN-код: 5911–3648

Петрухина Олеся Анатольевна — кандидат ветеринарных наук, ассистент департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: petrukhina-oa@rudn.ru
ORCID: 0000–0002–9102–2891 SPIN-код: 3774–6670

Нотина Елена Александровна — кандидат филологических наук, заведующий 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

Быкова Ирина Александровна — кандидат филологических наук, профессор, кафедра иностранных языков, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: bykova-ia@rudn.ru
ORCID: 0000–0002–5653–3899 SPIN-код: 7797–8418



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-349-357

EDN: НРКРВW

УДК 619:618.96:569.822.2-086

Научная статья / Research article

Морфофункциональные показатели иммунной системы цыплят при диссеминации бактерий *Pseudomonas aeruginosa*

Е.М. Ленченко¹  , Г.С. Толмачева² , Е.В. Куликов³ ¹Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова, г. Москва, Российская Федерация³Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация lenchenko.ekaterina@yandex.ru

Аннотация. Структура общей патологии птицы достоверно часто представлена инфекционными болезнями, вызываемыми убиквитарными бактериями с вариабельностью факторов вирулентности и множественной антибиотикорезистентностью. Цель исследования — анализ динамики морфофункциональных показателей иммунной системы цыплят при экспериментальном псевдомонозе. Инициацию, развитие и исход экспериментального инфекционного процесса учитывали бактериологическими и иммунологическими методами с применением витального красителя. При диссеминации бактерий *P. aeruginosa* установлено достоверное увеличение показателей экстравазации кровеносных сосудов легкого, признаки гемодинамических расстройств и развитие дистрофических и компенсаторно-приспособительных процессов. Патогенетические механизмы опосредованы динамикой изменений ретикулоэндотелиальной и лимфоэпителиальной системы: акцидентальной трансформацией тимуса, атрофией бursы Фабрициуса, гиперплазией эзофагальных и слепкишечных лимфоидных фолликул, дивертикула Меккеля, селезенки.

Ключевые слова: птица, иммуноглобулины, антигены, микроорганизмы, дифференциация, трансформация тимуса, атрофия бursы, спленомегалия

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

© Ленченко Е.М., Толмачева Г.С., Куликов Е.В., 2024



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

Вклад авторов: концепция — Е.М. Ленченко; методология, валидация — Г.С. Толмачева; работа с данными — Е.М. Ленченко; ревизия и редактирование текста — Е.М. Ленченко, Е.В. Куликов. Все авторы прочитали окончательную версию рукописи и согласны с ней.

История статьи: поступила в редакцию 2 апреля 2024 г., принята к публикации 24 апреля 2024 г.

Для цитирования: Ленченко Е.М., Толмачева Г.С., Куликов Е.В. Морфофункциональные показатели иммунной системы цыплят при диссеминации бактерий *Pseudomonas aeruginosa* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 349—357. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-349-357

Morphofunctional parameters of the immune system of chickens after dissemination of bacteria *Pseudomonas aeruginosa*

Ekaterina M. Lenchenko¹  , Galina S. Tolmacheva² ,
Evgeny V. Kulikov³ 

¹Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russian Federation

²Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russian Federation

³RUDN University, Moscow, Russian Federation

 lenchenko.ekaterina@yandex.ru

Abstract. Infectious diseases caused by ubiquitous bacteria with variability of virulence factors and multiple antibiotic resistance reliably often represent the structure of the general pathology of poultry. The aim of the study was to analyze dynamics of morphofunctional parameters of immune system of chickens in experimental pseudomonas infection. The initiation, development, and outcome of the experimental infectious process were considered using bacteriological and immunological methods with vital dye. Dissemination of *P. aeruginosa* bacteria revealed significant increase in extravasation of lung blood vessels, signs of hemodynamic disorders, and development of dystrophic and compensatory-adaptive processes. Pathogenic mechanisms are mediated by the dynamics of changes in reticuloendothelial and lymph epithelial systems: accidental transformation of thymus, atrophy of bursa of Fabricius, hyperplasia of esophageal and cecum lymphoid follicles, Meckel's diverticulum, and spleen.

Key words: poultry, immunoglobulins, antigens, microorganisms, differentiation, thymus transformation, bursa atrophy, splenomegaly

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

Authors' contribution: Conceptualization — Lenchenko E.M.; methodology, validation — Tolmacheva G.S.; data processing — Lenchenko E.M.; writing/review and editing — Lenchenko E.M., Kulikov E.V. All authors read and approved the final manuscript.

Article history: Received: 2 April 2024. Accepted: 24 April 2024.

For citation: Lenchenko EM, Tolmacheva GS, Kulikov EV. Morphofunctional parameters of the immune system of chickens after dissemination of bacteria *Pseudomonas aeruginosa*. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):349—357. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-349-357

Введение

В птицеводческих хозяйствах при высоких показателях заболеваемости и смертности наиболее часто выявляют поражения органов дыхания, сердечно-сосудистой системы, резкое снижение яйценоскости [1–3]. При массовой гибели эмбрионов, развитии септицемии, геморрагической пневмонии цыплят достоверно часто выделяли изоляты *Pseudomonas aeruginosa* [4–7]. Во всем мире наблюдается тенденция статистически достоверного возрастания инцидентности эпидемиологических показателей нозокомиального псевдомоноза [8, 9]. Из-за возрастания этиологической значимости при развитии гнойно-септических процессов млекопитающих и птиц эти бактерии признаны приоритетными для исследований и включены в глобальный список патогенов (*Global Priority Pathogen list*) множественной лекарственной устойчивости (*Multidrug-Resistant*) [10]. Патогенез синдрома избыточного роста патогенных микроорганизмов обеспечивается диссоциацией, дисперсией некультивируемых клеток, имеющих преимущества при гиперагрегации многоклеточной гетерогенной популяции биопленок [3, 11]. Для разработки эффективных методов диагностики и превентивных противоэпизоотических мероприятий приоритетными задачами являются раскрытие патогенетических механизмов адаптации убиквитарных микроорганизмов к длительной персистенции как *in vivo*, так *in vitro*.

Цель исследования — анализ динамики морфофункциональных показателей иммунной системы цыплят при диссеминации бактерий *Pseudomonas aeruginosa*.

Материалы и методы исследования

Микроорганизмы *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 культивировали в жидких и плотных питательных средах: Nutrient broth (HiMedia, India), Difco Vacto agar (Difco, USA), Cetrимиде агар (HiMedia, India) при 37 ± 1 °C в течение 24 и 48 ч. Биохимические свойства изучали с применением среды Гисса. Для исследования бактериологических и морфофункциональных показателей 20-суточным цыплятам породы Белый леггорн ($n = 10$) интраназально вводили по $0,02 \text{ см}^3$ культуры микроорганизмов *P. aeruginosa* (5×10^9 КОЕ/мл) — опыт; аналогичной группе цыплят ($n = 10$) вводили тем же способом $0,02 \text{ см}^3$ 0,85%-го NaCl — контроль. Патологоанатомические вскрытия и гистологические исследования проводили общепринятыми методами, учитывая анатомо-топографические особенности органов птицы [1, 2, 12–14]. Для исследований динамики изменений при диссеминации микроорганизмов учитывали проницаемость сосудов легких по степени экстравазации витального красителя Эванса [3, 11]. опыты проводили соответственно требованиям «Директива 2010/63/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского союза» от 22 сентября 2010 г. о защите животных, используемых в научных целях. Результаты экспериментальных исследований обрабатывали общепринятыми методами и считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты исследований и обсуждение

Клинические признаки острого течения болезни развивались в течение 24...120 ч экспериментальных исследований. Наблюдали анорексию, жажду, цианоз сережек, гребня, из носовых отверстий выделялась кровянистая пенная жидкость, перьевой покров периорбитальной области и вокруг носовых отверстий слипшийся и влажный. При бактериологическом исследовании патматериала изоляты были выделены через 24...48 ч из легких, кишечника, печени; 96 ч — крови, почек; 120 ч — селезенки. Изоляты были грамотрицательные, аэробные, восстанавливали нитриты в нитраты, разжижали желатин и свернутую кровяную сыворотку, гидролизуют казеин, не ферментировали мальтозу, не образовывали индол, сероводород (таблица).

Результаты изучения фенотипических признаков изолятов, выделенных из патматериала цыплят

Признаки	Изоляты, 37 ± 1 °C					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Оксидаза	+	+	+	+	+	+
Каталаза	+	+	+	+	+	+
Глюкоза	+	+	+	+	+	+
Лактоза	–	–	–	–	–	–
Сахароза	–	–	–	–	–	–
Мальтоза	–	–	–	–	–	–
Маннитол	+	+	+	+	+	+
Трегалоза	+	+	+	+	+	+
Ксилоза	+	+	+	+	+	+
Арабиноза	+	+	+	+	+	+
β-галактозидаза	–	–	–	–	–	–
Малонат	+	+	+	+	+	+
Уреаза	+	+	+	+	+	+
Аргинин	+	+	+	+	+	+
Орнитин	–	–	–	–	–	–
Лизин	–	–	–	–	–	–
Ацетамид	+	+	+	+	+	+
Эскулин	–	–	–	–	–	–
Инозитол	–	–	–	–	–	–
Индол	–	–	–	–	–	–
Сероводород	–	–	–	–	–	–
Гемолиз	+	+	+	+	+	+
Диффундирующий сине-зеленый пигмент	+	+	+	+	+	+

Примечание. № 1 — из легких; № 2 — из крови; № 3 — из печени; № 4 — из почки; № 5 — из содержимого подвздошного кишечника; № 6 — из содержимого слепого кишечника.

Диссеминация бактерий сопровождалась множественными кровоподтеками покровов кожи, признаками гемодинамических расстройств сердечно-сосудистой, дыхательной, пищеварительной, выделительной, репродуктивной систем. Выяв-

ляли воспалительную гиперемию, серозный отек, лимфоидно-макрофагальную инфильтрацию некроз и десквамацию покровного эпителия слизистой оболочки трахеи. Значительные скопления густой слизи и наличие пленок фибрина выявляли в просвете спавшихся воздухоносных мешков. При наличии признаков аэросаккулита и острой катаральной пневмонии воспалительные процессы сопровождалось образованием серозно-геморрагического экссудата, десквамацией альвеолярного эпителия. Выявляли пропитывание тканей легкого синим красителем Эванса, не проникающего через неповрежденный эндотелий кровеносных сосудов. Коэффициент проницаемости кровеносных сосудов K при экстравазации витального красителя: $K_{\text{контроль}} \leq 0,18$; $K_{\text{опыт}} = 1,08 \pm 0,11 - 2,04 \pm 0,12$. Пораженные дольки легких имели дряблую консистенцию, были окрашены в ярко красный цвет, поверхность разреза органа была влажной. Значительные скопления геморрагического экссудата и светло-розовые нитевидные структуры фибрина выявляли в просвете парабронхов, бронхов и альвеол. В междольковой соединительной ткани наблюдали гиперемию и лейкоцитарную инфильтрацию, пролиферацию фибробластов. Перикард был заполнен серозно-фибринозным экссудатом, обширные кровоизлияния с кровоподтеками выявлялись под эндокардом. Признаки острой дилатации правого предсердия и переполнение правого желудочка жидкостью темно-красного цвета сопровождалось кардиомиопатией. При развитии застойной гиперемии коронарных сосудов развивались признаки токсической дистрофии кардиомиоцитов, массовый распад лимфоцитов и диссеминированный тромбоз.

В просвете тонкого отдела кишечника выявляли скопление жидкости коричневого цвета с кровяными сгустками, множественные точечные, пятнистые и полосчатые кровоизлияния выявляли в слизистой оболочке желудка и тонкого кишечника. Выявляли дисконформацию балочной структуры долек, токсическую дистрофию гепатоцитов, кровенаполнение синусоидных капилляров. Развивался застойный геморрагический инфаркт почек, атрезия яйцевых фолликулов и яйцеводов, желточные перитониты. Как правило, развивались признаки геморрагического диатеза, катарально-геморрагического аэросаккулита, геморрагической пневмонии, серозно-фибринозного перикардита, некроза миокарда и печени, септицемии, разрыва желтков, спленомегалии (рис. 1).

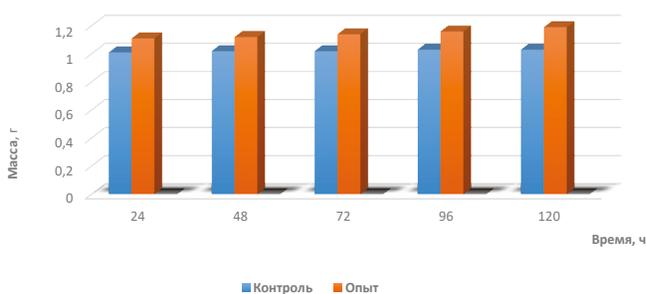


Рис. 1. Абсолютная масса селезенки цыплят при интраназальном заражении бактериями *Pseudomonas aeruginosa*, 5×10^9 КОЕ/мл

Источник: выполнили Е.М. Ленченко, Г.С. Толмачева с помощью Microsoft Word

В целом инициация и развитие патогенетических механизмов опосредованы снижением фагоцитарной функции лейкоцитов, секрецией белков острой фазы и цитокинов, развитием септицемии и гнойно-воспалительных процессов. При длительной персистенции микроорганизмов развивались признаки акцидентальной трансформации тимуса, атрофии бursы Фабрициуса, гиперплазии клеток эзофагальных фолликулов, дивертикула Меккеля тощей кишки, слепки кишечника лимфоидных фолликулов, селезенки. Достоверно часто в участках опустошения красной пульпы наблюдался кариолизис эритроцитов и оксифильные включения зернистой формы выявлялись в цитоплазме эритроцитов. Развитие патологических процессов по типу реакции гиперчувствительности замедленного типа сопровождалось бактериальной эмболией сосудов, крупноклеточной гиперплазией лимфаденоидной ткани, увеличением числа гистиоцитов, мегакариоцитов. Выявляли участки лизиса эритроцитов и скопления диффузно расположенных гранул гемосидерина в паренхиме селезенки и просвете сосудов (рис. 2).

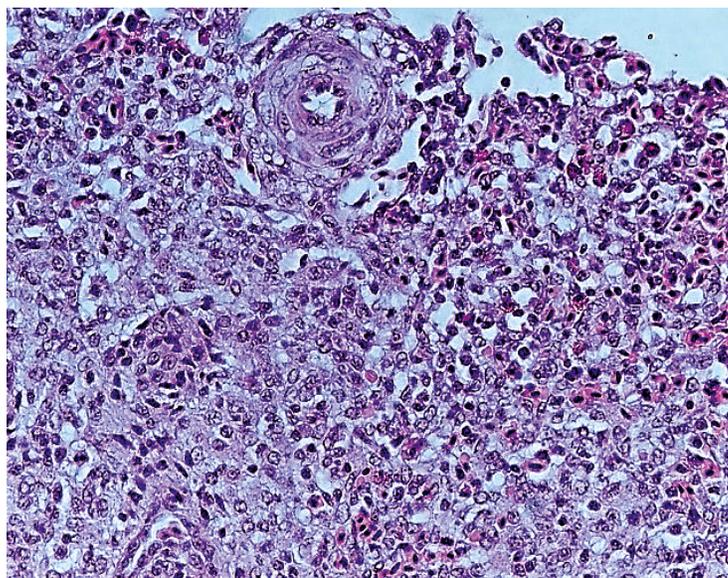


Рис. 2. Селезенка цыпленка при заражении бактериями *P. aeruginosa*. Гематоксилин и эозин. Ок. 10, об. 20, H604 Trinocular Unico, USA

Источник: выполнили Е.М. Ленченко, Г.С. Толмачева

Установлено увеличение относительной площади красной пульпы и уменьшение относительной площади белой пульпы. Наблюдалось увеличение общей площади реактивных центров белой пульпы. В участках уплотнения и воспаления кооперативное взаимодействие лейкоцитов было представлено преимущественно популяцией В-лимфоцитов и макрофагов. Отмечены прямые коррелятивные зависимости ($r = 0,89$) между показателями увеличения числа Th1-лимфоцитов и гиперсекрецией иммуноглобулинов. Установлено достоверное увеличение размеров лимфоидных фолликулов, лимфоциты вокруг центральной артерии располагались разреженно,

наблюдался пикноз и кариорексис лимфоцитов, некроз реактивных центров. Как правило выявлялись участки опустошения синусов, гигантские макрофаги, развивались признаки периваскулярной ретикулоэндотелиальной гиперплазии.

Общие закономерности антигенного воздействия опосредованы реакцией центральных органов иммунной системы, призванных «рекрутировать» лимфоциты, и периферических органов — формировать микроокружение участков межклеточных взаимодействий иммунокомпетентных клеток [15–18]. При скрининге образцов, в т. ч. и объединенных проб разных возрастных групп популяции следует учитывать, что максимальный уровень специфических иммуноглобулинов наблюдается через 1...4 недели [1, 3]. Наряду с применением химиотерапевтических препаратов и средств специфической профилактики рекомендуется применение препаратов для коррекции иммунного статуса [19–22]. Превентивная мера снижения рисков формирования и поддержания природных очагов инфекций — оптимизация схемы микробиологического мониторинга для выявления общих закономерностей развития эпизоотического процесса при циркуляции патогенов в естественных экосистемах без воздействия антропогенных факторов [13, 14, 16]. Методологические подходы разработки и внедрения научно обоснованных принципов профилактики в промышленном птицеводстве основаны на совершенствовании нормативной правовой базы, адаптации методов экономической оценки эффективности мероприятий, использовании цифровых технологий, в т. ч. для планирования и реализации противоэпизоотических мероприятий [19, 20, 23].

Заключение

При диссеминации бактерий *P. aeruginosa* в ткани и органы цыплят установлено достоверное увеличение показателей экстравазации кровеносных сосудов легкого, опыт — $K \geq 2,04$. Инициация и развитие патогенетических механизмов опосредованы развитием иммунных реакций по типу гиперчувствительности замедленного типа: бактериальной эмболией сосудов, крупноклеточной гиперплазией лимфаденоидной ткани, увеличением числа гистиоцитов, мегакариоцитов.

Список литературы

1. Вахрушева Т.И. Патоморфологическая диагностика орнитобактериоза у декоративных голубей // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. 2021. № 4. С. 35–41. doi: 10.31588/2413-4201-1883-248-4-35-41
2. Громов И.Н. Патоморфология и дифференциальная диагностика инфекционных болезней птиц, протекающих с респираторным синдромом // Ветеринария. 2021. № 3. С. 3–7. doi: 10.30896/0042-4846.2021.24.3.03-07
3. Lenchenko E., Sachivkina N., Lobaeva T., Zhabo N., Avdonina M. Bird immunobiological parameters in the dissemination of the biofilm-forming bacteria *Escherichia coli* // Veterinary World. 2023. № 16 (5). С. 1052–1060. doi: 10.14202/vetworld.2023.1052-1060
4. Algamal A.M., Eidaroos N.H., Alfifi K.J., Alatawy M., Al-Harbi A.I., Alanazi Y.F., Ghobashy M.O.I., Khafagy A.R., Esawy A.M., El-Sadda S.S., Hetta H.F., El-Tarabili R.M. Opr L Gene Sequencing, Resistance Patterns, Virulence Genes, Quorum Sensing and Antibiotic Resistance Genes of XDR *Pseudomonas aeruginosa* Isolated from Broiler Chickens // Infection and drug resistance. 2023. № 16. С. 853–867. doi: 10.2147/IDR.S401473
5. Kebede F. *Pseudomonas* infection in chickens // J. Vet. Med. Anim. Health. 2010. Vol. 2. No. 4. P. 55–58. <http://www.academicjournals.org/JVMAHc2010>

6. Jihan Mostafa Badr, Fawzy Reyad El Saïdy, Amal Abdelwahed Abdelfattah. Emergence of Multi-Drug Resistant *Pseudomonas aeruginosa* in Broiler Chicks // International Journal of Microbiology and Biotechnology. 2020. Vol. 5. № 2. P. 41–47. doi: 10.11648/j.ijmb.20200502.11
7. Abd El-Ghany W.A. *Pseudomonas aeruginosa* infection of avian origin: Zoonosis and one health implications // Veterinary World. 2021. Vol. 14. No. 8. P. 2155–2159. doi: 10.14202/vetworld.2021.2155-2159
8. Wood S.J., Kuzel T.M., Shafikhani S.H. *Pseudomonas aeruginosa*: Infections, Animal Modeling, and Therapeutics // Cells. 2023. Vol. 12. No. 1. P. 199. doi: 10.3390/cells12010199
9. Montero M.M., López Montesinos I., Knobel H., Molas E., Sorlí L., Siverio-Parés A., Prim N., Segura C., Duran-Jordà X., Grau S. et al. Risk Factors for Mortality among Patients with *Pseudomonas aeruginosa* Bloodstream Infections: What Is the Influence of XDR Phenotype on Outcomes? // J. Clin. Med. 2020. Vol. 9. № 2. <https://doi.org/10.3390/jcm9020514>
10. Hernando-Amado S., Martínez J.L. Special Issue: “Antimicrobial Resistance in *Pseudomonas aeruginosa*” // Microorganisms. 2023. Vol. 11. № 3. doi: 10.3390/microorganisms11030744
11. Ленченко Е.М., Плотникова Е.М. Гистохимическая характеристика органов иммунитета птиц при эшерихиозе // Ветеринария. 2014. № 8. С. 25–28.
12. Журов Д.О. Органы иммунной системы лебедя-шипунa: синтопия, архитектоника и морфометрические показатели // Ученые записки УО ВГАВМ. 2023. Т. 59. № 3. С. 17–21. doi: 10.52368/2078-0109-2023-17-21
13. Селезнев С.Б., Кротова Е.А., Ветошкина Г.А., Куликов Е.В., Бурькина Л.П. Основные принципы структурной организации иммунной системы перепелов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2015. № 4. С. 66–73. doi: 10.22363/2312-797X-2015-4-66-73
14. Волков М.С., Ирза В.Н., Варкентин А.В., Роголев С.В., Андриясов А.В. Результаты научной экспедиции в природные биотопы Республики Тыва в 2019 году для проведения мониторинга инфекционных болезней в популяциях диких птиц // Ветеринария сегодня. 2020. № 2 (33). С. 83–88. doi: 10.29326/2304-196X-2020-2-33-83-88
15. Слесаренко Н.А., Комякова В.А., Степанович В.В. Морфофункциональное обоснование факторов риска возникновения энтеропатий у лабораторных животных // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2019. № 8. С. 6–15. doi: 10.26155/vet.zoo.bio.201908001
16. Lenchenko E., Sachivkina N., Petrukhina O., Petukhov N., Zharov A., Zhabo N., Avdonina M. Anatomical, pathological, and histological features of experimental respiratory infection of birds by biofilm-forming bacteria *Staphylococcus aureus* // Veterinary World. 2024. Vol. 17. No. 3. P. 612–619. doi: 10.14202/vetworld.2024.612-619
17. Trivedi S., Grossmann A.H., Jensen O., Cody M.J., Wahlig T.A., Hayakawa Serpa P., Langelier C., Warren K.J., Yost C.C., Leung D.T. Intestinal Infection Is Associated With Impaired Lung Innate Immunity to Secondary Respiratory Infection // Open Forum Infectious Diseases. 2021. Vol. 8. № 6. ofab237. doi: 10.1093/ofid/ofab237
18. Пименов Н.В., Лантев С.В., Пермьякова К.Ю., Марзанова С.Н., Иванникова Р.Ф. Роль нейтрофильных гранулоцитов и катионных белков в качестве биомаркеров тяжести течения инфекционных и неинфекционных заболеваний животных // Международный вестник ветеринарии. 2023. № 4. С. 37–48. doi: 10.52419/issn2072-2419.2023.4.37
19. Джавадов Э.Д. Вакцинация как основной фактор поддержания биобезопасности птицеводческих предприятий // Организация системы контроля инфекционных болезней птиц, применения антимикробных препаратов и выпуска безопасной продукции птицеводства. СПб., 2018. С. 236–246.
20. Панкратов С.В., Сухинин А.А., Рождественская Т.Н. Респираторный синдром птиц. Этиология, диагностика, меры борьбы и профилактики // Птица и птицепродукты. 2021. № 4. С. 34–36. doi: 10.30975/2073-4999-2021-23-4-34-36
21. Vatnikov Y., Shabunin S., Kulikov E., Karamyan A., Murylev V., Elizarov P., Kuznetsova O., Vasilieva E., Petukhov N., Shopinskaya M., Rudenko A., Rudenko P. The efficiency of therapy the piglets gastroenteritis with combination of Enrofloxacin and phytosorbent *Hypericum perforatum* L // International Journal of Pharmaceutical Research. 2020. Vol. 12. Suppl. 2. P. 3064–3073. doi: 10.31838/ijpr/2020.sp2.373
22. Sachivkina N., Vasilieva E., Lenchenko E., Kuznetsova O., Karamyan A., Ibragimova A., Zhabo N., Molchanova M. Reduction in pathogenicity in yeast-like fungi by farnesol in quail model // Animals (Basel). 2022. Vol. 12. № 4. P. 489. doi: 10.3390/ani12040489
23. Фисинин В.И., Журавель Н.А., Мифтахутдинов А.В. Методология определения эффективности внедрения новых ветеринарных методов и средств в птицеводстве // Ветеринария. 2018. № 6. С. 14–20.

Об авторах:

Ленченко Екатерина Михайловна — доктор ветеринарных наук, профессор, кафедра ветеринарной медицины, институт ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Российская Федерация, 125080, г. Москва, Волоколамское ш., д. 11; e-mail: lenchenko.ekaterina@yandex.ru

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

Толмачева Галина Сергеевна — инженер-исследователь, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Российская Федерация, 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26; e-mail: tgs2991@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9937-320X SPIN-код: 6909–2048

Куликов Евгений Владимирович — кандидат биологических наук, доцент, доцент департамента ветеринарной медицины, 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-2024-19-2-358-369

EDN: GHBNXR

УДК 619:579.8:616-002:591.2:636.2

Научная статья / Research article

Чувствительность к антибиотикам и фитобиотикам инициаторов острой катаральной бронхопневмонии у телят

Н.Ю. Родионова , П.А. Руденко  ✉, Е.Д. Сотникова ,И.Е. Прозоровский , М.И. Шопинская ,Е.А. Кротова , В.И. Семенова 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

✉ pavelrudenko76@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты изучения антимикробной активности антибиотиков (бензилпенициллин, метициллин, амоксициллин, цефазолин, цефтриаксон, цефкином, цефепим, гентамицин, тилозин, линкомицин, энрофлоксацин, марбофлоксацин) и фитобиотиков (экстракт элеутерококка, экстракт эхинацеи пурпурной, экстракт зверобоя продырявленного), широко используемых в ветеринарии, в отношении микроорганизмов, изолированных от телят при острой катаральной бронхопневмонии. Материалом для исследования служили телята в возрасте 1–3 месяца, больные острой катаральной бронхопневмонией ($n = 37$). От больных телят отбирали бронхоальвеолярный лаваж с помощью силиконовых стерильных катетеров в стерильные пробирки. Бактериологические исследования проводили на базе ООО «Веттест» общепринятыми методами. Определение чувствительности изолированных условно-патогенных микроорганизмов к антибактериальным препаратам показало, что подавляющее их большинство имеет достаточно низкую эффективность. Установлено, что все 115 изолированных микроорганизмов оказались чувствительны лишь к трем антибактериальным препаратам: цефалоспориновым антибиотикам IV поколения — цефкиному и цефепиму, а также к фторхинолоновому антибиотику III поколения — марбофлоксацину. Из исследованных фитобиотиков наиболее выраженными антимикробными свойствами по отношению к основным инициаторам острой катаральной бронхопневмонии у телят обладает зверобой продырявленный. При этом, он показал более мощное противомикробное действие по отношению к представителям грамположительных бактерий. Это дает возможность его широкого использования при проведении комплексной терапии у данного вида животных.

Ключевые слова: легкие, воспаление, бронхоальвеолярный лаваж, микрофлора, терапия, антибактериальная активность, зверобой продырявленный

© Родионова Н.Ю., Руденко П.А., Сотникова Е.Д., Прозоровский И.Е., Шопинская М.И., Кротова Е.А., Семенова В.И., 2024



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.

Вклад авторов: концепция — П.А. Руденко; методология — Н.Ю. Родионова; валидация — И.Е. Прозоровский; работа с данными — М.И. Шопинская, Е.А. Кротова; написание первой версии — П.А. Руденко, В.И. Семенова; ревизия и редактирование текста — Е.А. Кротова, Е.Д. Сотникова; визуализация результатов — П.А. Руденко, В.И. Семенова, Е.Д. Сотникова. Все авторы прочитали окончательную версию рукописи и согласны с ней.

Финансирование. Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24–26–00091, <https://rscf.ru/project/24–26–00091/>

История статьи: поступила в редакцию 6 февраля 2024 г., принята к публикации 7 марта 2024 г.

Для цитирования: Родионова Н.Ю., Руденко П.А., Сотникова Е.Д., Прозоровский И.Е., Шопинская М.И., Кротова Е.А., Семенова В.И. Чувствительность к антибиотикам и фитобиотикам инициаторов острой катаральной бронхопневмонии у телят // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 358–369. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-358-369

Sensitivity of the initiators of acute catarrhal bronchopneumonia in calves to antibiotics and phytobiotics

Natalya Y. Rodionova , Pavel A. Rudenko  ✉, Elena D. Sotnikova ,
Ivan E. Prozorovskiy , Marina I. Shopinskaya ,
Elena A. Krotova , Valentina I. Semenova 

RUDN University, Moscow, Russian Federation
✉ pavelrudenko76@yandex.ru

Abstract. Antimicrobial activity of antibacterial agents (benzylpenicillin, methicillin, amoxicillin, cefazolin, ceftriaxone, cefquinome, cefepime, gentamicin, tylosin, lincomycin, enrofloxacin, marbofloxacin) and herbal medicines (extracts of *Eleutherococcus*, *Echinacea purpurea* and *Hypericum perforatum*) was studied. The purpose of the research was to determine sensitivity to antibiotics and phytobiotics in microorganisms isolated from bronchoalveolar lavage fluid collected from calves with acute catarrhal bronchopneumonia. Calves with acute catarrhal bronchopneumonia ($n = 37$) aged 1–3 months were studied in the research. Bronchoalveolar lavage was collected into sterile test tubes from sick calves using silicone sterile catheter. Bacteriological studies were carried out in LLC “Vettest”, using generally accepted methods. Determining the sensitivity of isolated opportunistic microorganisms to antibacterial drugs showed that the vast majority of them have rather low efficiency. It was found that all 115 isolated microorganisms were sensitive only to three antibacterial drugs: fourth-generation cephalosporin antibiotics — cefquinome and cephepime, and third-generation fluoroquinolone antibiotic — marbofloxacin. Of the phytobiotics studied, *Hypericum perforatum* extract had the most pronounced antimicrobial properties against the main initiators of acute catarrhal bronchopneumonia in the calves. Moreover, it showed a more powerful antimicrobial effect against gram-positive bacteria. This makes it possible to use it widely in complex therapy in calves.

Keywords: lungs, inflammation, bronchoalveolar lavage, microflora, therapy, antibacterial activity, *Hypericum perforatum*

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Author contributions: conceptualization — Rudenko P.A.; methodology — Rodionova N.Y.; validation — Prozorovskiy I.E.; data curation — Shopinskaya M.I., Krotova E.A.; writing/original draft preparation — Rudenko P.A., Semenova V.I.; writing/review and editing — Krotova E.A., Sotnikova E.D.; visualization — Rudenko P.A., Semenova V.I., Sotnikova E.D. All authors read and approved the final manuscript.

Acknowledgments: The study was performed under the grant of the Russian Scientific Fund No. 24–26–00091, <https://rscf.ru/project/24–26–00091/>

Article history: Received: 6 February 2024. Accepted: 7 March 2024.

For citation: Rodionova NY, Rudenko PA, Sotnikova ED, Prozorovskiy IE, Shopinskaya MI, Krotova EA, Semenova VI. Sensitivity of the initiators of acute catarrhal bronchopneumonia in calves to antibiotics and phytobiotics. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):358–369. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-358-369

Введение

В животноводческих хозяйствах среди высокопродуктивных животных широко распространены болезни органов дыхания, которые чаще всего диагностируются у молодняка. Эти болезни приводят к значительным экономическим убыткам отрасли: гибели животных, недополучению продукции от больных или переболевших животных, замедлению их роста и развития, затратам на лечение и профилактику [1–4]. Бронхопневмония у телят регистрируется практически во всех зонах нашей страны и по удельному весу среди всех патологий в фермерских хозяйствах занимает второе место после желудочно-кишечных заболеваний, достигая 20...30 %. Этиологическим фактором неспецифической бронхопневмонии телят является комплекс причин: скученное содержание, снижение резистентности и иммунологической реактивности организма новорожденных животных, воздействие неблагоприятных факторов внешней среды, стресс, несбалансированное кормление, а также условно патогенная микробиота передних дыхательных путей, которая при перечисленных неблагоприятных условиях может приобретать патогенные свойства [5–9].

В условиях производства против факторных инфекций, в т. ч. и бронхопневмонией телят, широко используют в качестве антимикробных препаратов антибиотики, которые чаще всего назначают эмпирически. Однако на протяжении последних лет во всем мире отмечается рост устойчивости бактерий к антибиотикам [10, 11]. В связи с этим во многих странах последовательно реализуется тенденция к полному или частичному отказу от антибактериальных препаратов в животноводстве. Поиски природных альтернатив антибиотикам — наиболее популярные в последние годы научные направления в деятельности широкого круга научных коллективов [3, 12, 13].

Растения и их экстракты, известные как фитобиотики, с древних времен широко используются в ветеринарной медицине для лечения различных патологий у животных, а также в качестве стимуляторов здоровья. Фитобиотики классифицируются на основе лечебных свойств растений, экстрактов их эфирных масел

и биологически активных соединений. Большинство биологически активных соединений в растениях являются вторичными метаболитами, такими как терпеноиды, фенолы, гликозиды и алкалоиды [14–17].

Исходя из сказанного выше, определение антимикробной активности антибактериальных средств (бензилпенициллин, метициллин, амоксициллин, цефазолин, цефтриаксон, цефкином, цефепим, гентамицин, тилозин, линкомицин, энрофлоксацин, марбофлоксацин) и фитопрепаратов (экстрактов элеутерококка, эхинацеи пурпурной и зверобоя продырявленного), широко используемых в ветеринарии, по отношению к микроорганизмам, изолированным от телят при острой катаральной бронхопневмонии, — актуальное направление для научных изысканий.

Цель исследования — определить чувствительность к антибиотикам и фитобиотикам у микроорганизмов, изолированных из проб бронхоальвеолярного содержимого, отобранного при острой катаральной бронхопневмонии телят.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования служили больные острой катаральной бронхопневмонией ($n = 37$) телята в возрасте 1–3 месяца в условиях животноводческих ферм ООО «Бабаево» Собинского района Владимирской области и ООО «Дельта-Ф» Сергиево-Посадского городского округа Московской области с общим поголовьем 3680 голов, в т. ч. 1690 коров.

Животных, которых подвергали терапии в течение 14 дней до отбора проб, исключили из исследования.

Для исключения возбудителей хламидиоза и микоплазмоза в утренние часы у больных животных отбирали кровь из яремной вены в стерильные пробирки для проведения серологических исследований при помощи системы автоматической ALISEI для иммуноферментного анализа.

От больных телят отбирали бронхоальвеолярный лаваж (БАЛ) с помощью силиконовых стерильных катетеров в стерильные пробирки. Перед отбором содержимого бронхов руки и обе ноздри телят обрабатывали 70° этиловым спиртом. Отбор проб осуществлял один и тот же ветеринарный специалист без проведения седации больных животных с использованием одноразовых силиконовых стерильных катетеров диаметром 4 мм и длиной 150 см. После вытягивания головы и шеи больному теленку для того, чтобы катетер мог пройти в трахею во время фазы вдоха дыхательного цикла, вводили назогастральный катетер трансназально до тех пор, пока не возникало незначительного сопротивления. Показателем достижения области бифуркации трахеи служил повторяющийся кашлевой рефлекс. По достижении области карина назогастральный зонд отодвигали назад на 1–2 см и с помощью шприца в трахею вводили 30 мл стерильного изотонического физиологического раствора (0,9% р-р NaCl, 37 °C), а затем сразу же аспирировали до 10 мл БАЛ. Отобранный описанным способом БАЛ в течение трех часов доставляли в лабораторию для проведения бактериологических исследований.

Бактериологические исследования проводили на базе ООО «Веттест» общепринятыми методами.

Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам проводили с помощью диско-диффузионного метода. В качестве тест-препаратов использовали 12 антимикробных препаратов: бензилпенициллин, метициллин, амоксициллин, цефазолин, цефтриаксон, цефкином, цефепим, гентамицин, тилозин, линкомицин, энрофлоксацин, марбофлоксацин. При оценке полученных результатов чувствительными штаммами бактерий считали микроорганизмы при задержке их роста в присутствии антибиотика более чем на 18 мм (+++); мало-чувствительными — при задержке их роста на 11...18 мм (++), а нечувствительными — при задержке их роста менее 10 мм (+).

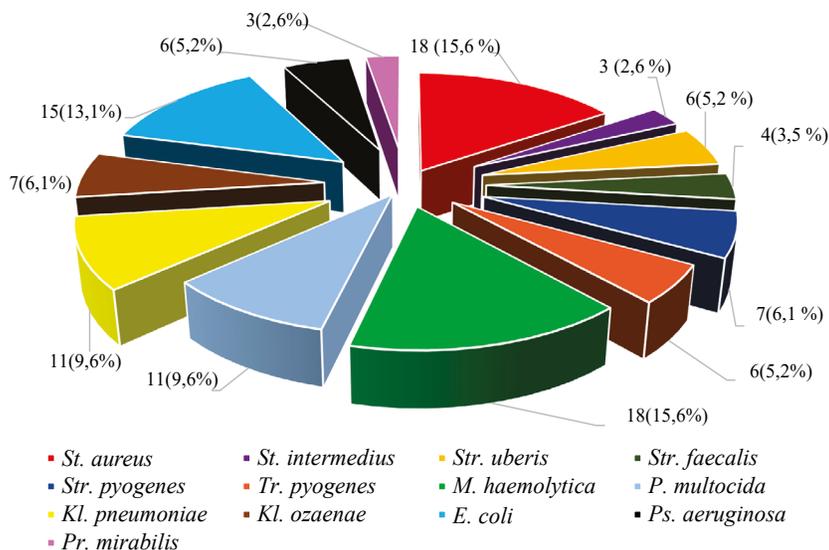
Изучение антимикробной активности экстрактов элеутерококка, эхинацеи пурпурной и зверобоя продырявленного к основным возбудителям острой катаральной бронхопневмонии телят проводили методом последовательных двукратных серийных разведений (stock, в 2 раза, 4 раза, 8 раз, 16 раз, 32 раза, 64 раза и 128 раз) в плотной питательной среде — МПА. С этой целью колбу с мясопептонным агаром разогревали в микроволновке и остужали до 45...50 °С, после чего разливали по чашкам. Разведения экстрактов лекарственных трав вносили пипеткой в стерильные чашки Петри в стерильном боксе, соблюдая правила асептики и антисептики. После затвердевания питательной среды с разведенными фитопрепаратами маркером разделяли чашку Петри на 8 секторов. В каждый сектор бактериологической петлей штрихом засекали тестируемые штаммы микроорганизмов. Чашки с мясопептонным агаром выдерживали в термостате при 37 °С в течение суток, после чего проводили учет результатов исследования.

Полученные результаты подвергали статистическому анализу и представляли в виде рисунка и таблиц.

Результаты исследований и обсуждение

Постановка окончательного диагноза при борьбе с любым инфекционным заболеванием невозможна без определения всего спектра его возбудителей. Результаты изучения микробного пейзажа, изолированного из проб БАЛ при бронхопневмонии у телят, приведены на рисунке.

Представленные данные указывают на то, что возникновение бронхопневмонии у телят обусловлено достаточно широким спектром условно-патогенной микрофлоры. Так, из проб БАЛ при микробиологическом исследовании нами изолировано 115 бактерий тринадцати видов, отнесенных к девяти родам. При этом большая ее часть, а именно 71 культура (61,7 %), отнесена к грамотрицательным патогенам. Показано, что чаще от телят из проб бронхоальвеолярного содержимого выделяли *St. aureus* 18 (15,6 %) культур, *M. haemolytica* 18 (15,6 %) штаммов, *E. coli* 15 (13,1 %) изолятов, *P. multocida* 11 (9,6 %) культур и *Kl. pneumoniae* 11 (9,6 %) штаммов. Реже всего из отобранного материала при бронхопневмонии телят изолировали культуры *St. intermedius* и *Pr. mirabilis* — по три (2,6 %) случая соответственно.



Микробный пейзаж при бронхопневмонии у телят

Источник: выполнил П.А. Руденко с использованием Microsoft Word

Главной целью анализа чувствительности микроорганизмов-инициаторов любого инфекционного процесса к антибиотикам является прогнозирование эффективности антибактериальных препаратов при разработке стратегии борьбы с заболеванием. Поэтому в дальнейшем у изолированной микрофлоры определяли антибиотикочувствительность (табл. 1).

Таблица 1

Чувствительность выделенной микрофлоры (n = 115) к антибактериальным препаратам

Антибактериальные препараты	Результаты антибиотикограмм					
	+++		++		+	
	Абс. число	%	Абс. число	%	Абс. число	%
Бензилпенициллин	36	31,3	13	11,3	66	57,4
Метициллин	19	16,6	15	13,0	81	70,4
Амоксициллин	62	53,9	26	22,6	27	23,5
Цефазолин	73	63,5	26	22,6	16	13,9
Цефтриаксон	102	88,7	9	7,8	4	3,5
Цефкином	115	100,0	—	—	—	—
Цефепим	115	100,0	—	—	—	—
Гентамицин	74	64,3	30	26,1	11	9,6
Тилозин	62	53,9	17	14,8	36	31,3
Линкомицин	80	69,6	20	17,4	15	13,0
Энрофлоксацин	103	89,6	7	6,1	5	4,3
Марбофлоксацин	115	100,0	—	—	—	—

Установлено, что все 115 (100,0 %) выделенных штаммов микроорганизмов были чувствительны лишь к трем антибактериальным препаратам: цефалоспориновым антибиотикам IV поколения цефкиному и цефепиму, а также к фторхинолоновому антибиотику III поколения марбофлоксацину. Достаточно неплохую чувствительность изолированные культуры микроорганизмов проявили к энрофлоксацину и цефтриаксону — 103 (89,6 %) и 102 (88,7 %) изолятов соответственно.

Необходимо отметить, что подавляющее большинство представленных антимикробных препаратов проявляли достаточно низкую эффективность по отношению к изолированным культурам бактерий. Так, 8 (44,4 %) штаммов *St. aureus* и 58 (81,6 %) представителей грамотрицательной микрофлоры были устойчивы к бензилпенициллину из группы пенициллинов. Десять (55,5 %) изолятов *St. aureus* и все (71 (100,0 %)) представители выделенных нами грамотрицательных бактерий проявляли устойчивость к метициллину — β -лактамному антибиотику из класса пенициллинов. Все представители изолированных видов *Ps. aeruginosa*, *Pr. mirabilis* и *M. haemolytica* показали устойчивость к амоксициллину из группы пенициллинов. У всех штаммов *Ps. aeruginosa* и *Pr. mirabilis*, а также у 7 (38,8 %) культур *M. haemolytica* обнаружена устойчивость к цефазолину — цефалоспориновому антибиотику I поколения. Четыре (66,7 %) штамма *Ps. aeruginosa* проявляли устойчивость к цефалоспориновому антибиотику III поколения — цефтриаксону. Все 6 (100,0 %) культур *Str. uberis*, 3 (42,9 %) изолята *Str. pyogenes* и 2 (33,3 %) штамма *Tr. pyogenes* были устойчивы к антибиотику из группы аминогликозидов — гентамицину. Все изоляты клебсиелл (11 штаммов *Kl. pneumoniae* и 7 штаммов *Kl. ozaenae*), а также штаммы *M. haemolytica* показали устойчивость к антибиотику из группы макролидов — тилозину. Шесть (33,3 %) культур *St. aureus*, 4 (66,7 %) штамма *Str. uberis* и 5 (27,8 %) изолятов *M. haemolytica* проявили устойчивость к линкомицину — антибиотику из группы линкозамидов. Следует отметить, что 5 (27,8 %) культур *St. aureus* проявляли устойчивость к антибактериальному лекарственному препарату из группы фторхинолонов III поколения — энрофлоксацину. Таким образом, эмпирическое назначение антибиотиков сопряжено с большими рисками выбора антимикробного средства с низкими показателями антимикробной активности.

Поиски альтернативных антибиотикам средств для борьбы с факторными инфекциями являются наиболее востребованными направлениями исследований. Среди альтернативных групп, прежде всего, рассматриваются пробиотики, пребиотики, бактериолитические ферменты, фитобиотики, а также различные кормовые добавки [12, 18, 19]. Растения и их экстракты, известные как фитобиотики, широко используются с древних времен для лечения различных патологий у животных, а также в качестве стимуляторов здоровья. Во всем мире использование растительных лекарственных средств в животноводстве увеличивается из-за побочных эффектов современных медикаментов, высоких затрат на сырье, токсичных остатках в пищевых продуктах, роста антибиотикоустойчивости к микроорганизмам в целых отраслях животноводства [20]. Поэтому в продолжение исследований мы определяли антимикробную активность фитопрепаратов, широко

используемых в ветеринарии — экстрактов элеутерококка, эхинацеи пурпурной и зверобоя продырявленного — к микроорганизмам, изолированным от телят при острой катаральной бронхопневмонии (табл. 2–4).

Таблица 2

Антибактериальная активность экстракта элеутерококка относительно клинических изолятов-инициаторов бронхопневмонии у телят

Вид микроорганизма	Двухкратные разведения экстракта элеутерококка							
	Stock	2	4	8	16	32	64	128
<i>S. aureus</i>	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18
<i>S. intermedius</i>	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3
<i>Str. uberis</i>	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6
<i>Str. faecalis</i>	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
<i>Str. pyogenes</i>	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7
<i>Tr. pyogenes</i>	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6
<i>M. haemolytica</i>	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18
<i>P. multocida</i>	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11
<i>Kl. pneumoniae</i>	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11
<i>Kl. ozaenae</i>	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7
<i>E. coli</i>	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15
<i>Ps. aeruginosa</i>	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6
<i>Pr. mirabilis</i>	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3

Примечание. Числитель — количество штаммов, способных к росту; знаменатель — общее количество протестированных изолятов.

Установлено, что все 115 штаммов микроорганизмов, выделенные из бронхоальвеолярного содержимого, отобранного от телят с острой катаральной бронхопневмонией, показали высокую устойчивость к экстракту элеутерококка. Так, в чашках Петри с исходным stock-разведением тестируемого фитопрепарата все штаммы *S. aureus*, *S. intermedius*, *Str. uberis*, *Str. faecalis*, *Str. pyogenes*, *Tr. pyogenes*, *M. haemolytica*, *P. multocida*, *Kl. pneumoniae*, *Kl. ozaenae*, *E. coli*, *Ps. aeruginosa* и *Pr. mirabilis* показали обильный газонный рост.

Таблица 3

Антибактериальная активность экстракта эхинацеи пурпурной относительно клинических изолятов-инициаторов бронхопневмонии у телят

Вид микроорганизма	Двухкратные разведения экстракта эхинацеи пурпурной							
	Stock	2	4	8	16	32	64	128
<i>S. aureus</i>	0/18	0/18	0/18	7/18	12/18	18/18	18/18	18/18
<i>S. intermedius</i>	0/3	0/3	0/3	1/3	3/3	3/3	3/3	3/3
<i>Str. uberis</i>	0/6	0/6	1/6	5/6	6/6	6/6	6/6	6/6
<i>Str. faecalis</i>	0/4	0/4	2/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
<i>Str. pyogenes</i>	0/7	0/7	2/7	4/7	7/7	7/7	7/7	7/7
<i>Tr. pyogenes</i>	0/6	1/6	5/6	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6
<i>M. haemolytica</i>	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18
<i>P. multocida</i>	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11

End of Table 2

Вид микроорганизма	Двухкратные разведения экстракта эхинацеи пурпурной							
	Stock	2	4	8	16	32	64	128
<i>Kl. pneumoniae</i>	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11
<i>Kl. ozaenae</i>	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7
<i>E. coli</i>	0/15	0/15	11/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15
<i>Ps. aeruginosa</i>	0/6	0/6	0/6	2/6	6/6	6/6	6/6	6/6
<i>Pr. mirabilis</i>	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3

Примечание. Числитель – количество штаммов, способных к росту; знаменатель – общее количество протестированных изолятов.

Приведенные данные (см. табл. 3) говорят о том, что экстракт эхинацеи пурпурной не обладает антибактериальной активностью по отношению к представителям грамотрицательной микрофлоры следующих видов: *M. haemolytica*, *P. multocida*, *Kl. pneumoniae*, *Kl. ozaenae* и *Pr. mirabilis*.

Следует отметить, что эхинацея пурпурная показала достаточно высокую антимикробную активность по отношению ко всем представителям грамположительных микроорганизмов — инициаторам бронхопневмонии телят. В частности, ко всем штаммам *S. aureus* и *S. intermedius* фитопрепарат проявлял 100%-ю активность в 2- и 4-кратных разведениях. Экстракт эхинацеи пурпурной в четырехкратном разведении ингибировал рост 83,3 % культур *Str. uberis*, 50,0 % штаммов *Str. faecalis*, 71,4 % изолятов *Str. pyogenes* и 16,7 % культур *Tr. pyogenes*. Достаточно высокую активность тестируемый фитопрепарат проявил к штаммам *E. coli* и *Ps. aeruginosa*: в 4-кратном разведении экстракт эхинацеи пурпурной подавлял рост 4 (26,7 %) изолятов кишечных палочек, а в 8-кратном разведении — ингибировал рост 4 (66,7 %) штаммов палочки сине-зеленого гноя.

Таблица 4

Антибактериальная активность экстракта зверобоя продырявленного относительно клинических изолятов-инициаторов бронхопневмонии у телят

Вид микроорганизма	Двухкратные разведения экстракта зверобоя продырявленного							
	Stock	2	4	8	16	32	64	128
<i>S. aureus</i>	0/18	0/18	0/18	0/18	0/18	4/18	17/18	18/18
<i>S. intermedius</i>	0/3	0/3	0/3	0/3	1/3	3/3	3/3	3/3
<i>Str. uberis</i>	0/6	0/6	0/6	0/6	0/6	5/6	6/6	6/6
<i>Str. faecalis</i>	0/4	0/4	0/4	0/4	1/4	4/4	4/4	4/4
<i>Str. pyogenes</i>	0/7	0/7	0/7	0/7	0/7	3/7	7/7	7/7
<i>Tr. pyogenes</i>	0/6	0/6	0/6	0/6	1/6	4/6	6/6	6/6
<i>M. haemolytica</i>	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18
<i>P. multocida</i>	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11
<i>Kl. pneumoniae</i>	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11
<i>Kl. ozaenae</i>	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7	7/7
<i>E. coli</i>	0/15	0/15	7/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15
<i>Ps. aeruginosa</i>	0/6	0/6	0/6	2/6	6/6	6/6	6/6	6/6
<i>Pr. mirabilis</i>	0/3	0/3	0/3	1/3	1/3	3/3	3/3	3/3

Примечание. Числитель – количество штаммов, способных к росту; знаменатель – общее количество протестированных изолятов.

Определение антибактериальной активности экстракта зверобоя продырявленного относительно клинических штаммов-инициаторов бронхопневмонии у телят показало полную резистентность к тест-препарату представителей родов *Mannheimia sp. p.*, *Pasteurella sp. p* и *Klebsiella sp. p.* Установлено, что в исходной форме, 2-, 4- и 8-кратных разведениях экстракт зверобоя продырявленного показал 100%-ю эффективность по отношению ко всем представителям грамположительной микрофлоры. При этом, в 16-кратном разведении испытуемый фитопрепарат ингибировал рост 2 (66,7 %) штаммов *S. intermedius*, 3 (75,5 %) культур *Str. faecalis* и 5 (83,3 %) изолятов *Tr. pyogenes*. Следует отметить, что даже в 32-кратном разведении экстракт зверобоя продырявленного был активен в отношении 14 (77,8 %) штаммов золотистого стафилококка, 1 (16,7 %) культуре *Str. uberis*, 4 (57,1 %) штаммам *Str. yogenes* и 2 (33,3 %) изолятам *Tr. pyogenes*. Необходимо обратить внимание и на тот факт, что экстракт зверобоя продырявленного проявил достаточно высокую антимикробную активность по отношению к отдельным представителям грамотрицательной микрофлоры: в 4-кратном разведении ингибировал рост 8 (53,3 %) штаммов *E. coli*, а в 8-кратном разведении — 4 (66,7 %) культур *Ps. aeruginosa* и 2 (66,7 %) изолятов протей.

Таким образом, наиболее выраженными антимикробными свойствами по отношению к инициаторам острой катаральной бронхопневмонии у телят обладает экстракт зверобоя продырявленного. При этом указанный фитопрепарат показал более мощное противомикробное действие по отношению к представителям грамположительных бактерий, чем грамотрицательных. Полученные результаты исследований необходимо учитывать при выборе наиболее оптимальной стратегией борьбы с заболеваниями респираторного тракта у телят в животноводческих хозяйствах.

Заключение

Проведено определение чувствительности к антибиотикам и фитобиотикам у изолированных микроорганизмов из проб бронхоальвеолярного содержимого, отобранного при острой катаральной бронхопневмонии телят. Установлено, что все выделенные микроорганизмы проявили чувствительность лишь к трем антибактериальным препаратам: цефкиному, цефепиму и марбофлоксацину. Подавляющее большинство антибиотиков показали низкую эффективность: 8 (44,4 %) штаммов *St. aureus* и 58 (81,6 %) представителей грамотрицательных бактерий были устойчивы к бензилпенициллину; десять (55,5 %) изолятов *St. aureus* и все (71 (100,0 %)) грамотрицательные бактерии проявили устойчивость к метициллину; *Ps. aeruginosa*, *Pr. mirabilis* и *M. haemolytica* показали устойчивость к амоксициллину; *Ps. aeruginosa* и *Pr. mirabilis*, а также 7 (38,8 %) культур *M. haemolytica* обнаружена устойчивость к цефазолину; 4 (66,7 %) штамма *Ps. aeruginosa* проявляли устойчивость к цефтриаксону; *Str. uberis*, 3 (42,9 %) изолята *Str. pyogenes* и 2 (33,3 %) штамма *Tr. pyogenes* были устойчивы к гентамицину; клебсиеллы и изоляты *M. haemolytica* показали устойчивость к тилозину; 6 (33,3 %) культур *St. aureus*, 4 (66,7 %) штамма *Str. uberis* и 5 (27,8 %) изолятов *M. haemolytica* являлись устойчивыми к линко-

мицину; 5 (27,8 %) культур *St. aureus* проявляли устойчивость к энрофлоксацину. Показано, что наиболее выраженными антимикробными свойствами по отношению к инициаторам острой катаральной бронхопневмонии у телят среди испытываемых фитопрепаратов обладает экстракт зверобоя продырявленного. Так, в исходной форме, в 2-, 4- и 8-кратных разведениях экстракт зверобоя продырявленного показал 100%-ю эффективность по отношению ко всем представителям грамположительной микрофлоры. При этом, в 16-кратном разведении испытываемый фитопрепарат ингибировал рост 2 (66,7 %) штаммов *S. intermedius*, 3 (75,5 %) культур *Str. faecalis* и 5 (83,3 %) изолятов *Tr. pyogenes*. Даже в 32-кратном разведении экстракт зверобоя продырявленного был активен по отношению 14 (77,8 %) штаммам золотистого стафилококка, 1 (16,7 %) культуре *Str. uberis*, 4 (57,1 %) штаммам *Str. pyogenes* и 2 (33,3 %) изолятам *Tr. pyogenes*. Экстракт зверобоя продырявленного проявил достаточно высокую антимикробную активность и по отношению к отдельным представителям грамотрицательной микрофлоры: в 4-кратном разведении ингибировал рост 8 (53,3 %) штаммов *E. coli*, а в 8-кратном разведении — 4 (66,7 %) культур *Ps. aeruginosa* и 2 (66,7 %) изолятов протей.

Библиографический список

1. Berman J, Masseur I, Fecteau G, Buczinski S, Francoz D. Comparison between thoracic ultrasonography and thoracic radiography for the detection of thoracic lesions in dairy calves using a two-stage Bayesian method. *Prev Vet Med.* 2020;184:105153. doi: 10.1016/j.prevetmed.2020.105153
2. Kalaeva E, Kalaev V, Chernitskiy A, Alhamed M, Safonov V. Incidence risk of bronchopneumonia in newborn calves associated with intrauterine diselementosis. *Vet World.* 2020;13(5):987–995. doi: 10.14202/vetworld.2020.987-995
3. Руденко П.А., Ватников Ю.А., Руденко А.А., Руденко В.Б. Эпизоотический анализ животноводческих ферм, неблагополучных по факторным инфекциям // Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 4 (104). С. 572–585. doi: 10.35679/1991-9476-2020-15-4-572-585
4. Rudenko PA, Vatinikov YA, Rudenko AA, Rudenko VB. Epizootic analysis of factor-infected cattle farms. *Scientific life.* 2020;15(4):572–585. (In Russ.). doi: 10.35679/1991-9476-2020-15-4-572-585
5. Rizk MA, Mahmoud ME, El-Sayed SAE, Salman D. Comparative therapeutic effect of steroidal and non-steroidal anti-inflammatory drugs on pro-inflammatory cytokine production in water buffalo calves (*Bubalus bubalis*) naturally infected with bronchopneumonia: a randomized clinical trial. *Trop Anim Health Prod.* 2017;49(8):1723–1731. doi: 10.1007/s11250-017-1383-8
6. Юлдашбаев Ю.А., Ватников Ю.А., Руденко П.А., Руденко А.А. Особенности функционального состояния организма овец при стрессе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 2. С. 193–202. doi: 10.22363/2312-797x-2022-17-2-193-202
7. Yuldashbaev YA, Vatinikov YA, Rudenko PA, Rudenko AA. Features of the functional state of the organism of sheep under stress. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries.* 2022;17(2):193–202. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797x-2022-17-2-193-202
8. Haydock LAJ, Fenton RK, Smerek D, Renaud DL, Caswell JL. Bronchopneumonia with interstitial pneumonia in feedlot cattle: Epidemiologic characteristics of affected animals. *Vet Pathol.* 2023;60(2):226–234. doi: 10.1177/03009858221146096
9. Nicola I, Cerutti F, Grego E, Bertone I, Gianella P, D'Angelo A, et al. Characterization of the upper and lower respiratory tract microbiota in Piedmontese calves. *Microbiome.* 2017;5(1):152. doi: 10.1186/s40168-017-0372-5
10. Nishi Y, Tsukano K, Otsuka M, Tsuchiya M, Suzuki K. Relationship between bronchoalveolar lavage fluid and plasma endotoxin activity in calves with bronchopneumonia. *J Vet Med Sci.* 2019;81(7):1043–1046. doi: 10.1292/jvms.18-0643
11. Rudenko A, Glamazdin I, Lutsay V, Sysoeva N, Tresnitskiy S, Rudenko P. Parasitocenoses in cattle and their circulation in small farms. *E3S Web of Conferences.* 2022;363:03029. doi: 10.1051/e3sconf/202236303029

10. Van Driessche L, Bokma J, Deprez P, Haesebrouck F, Boyen F, Pardon B. Rapid identification of respiratory bacterial pathogens from bronchoalveolar lavage fluid in cattle by MALDI-TOF MS. *Sci Rep*. 2019;9(1):18381. doi: 10.1038/s41598-019-54599-9
11. Van Driessche L, Vanneste K, Bogaerts B, De Keersmaecker SCJ, Roosens NH, Haesebrouck F, et al. Isolation of drug-resistant *Gallibacterium anatis* from calves with unresponsive bronchopneumonia, Belgium. *Emerg Infect Dis*. 2020;26(4):721–730. doi: 10.3201/eid2604.190962
12. Ghosh C, Sarkar P, Issa R, Halder J. Alternatives to Conventional Antibiotics in the Era of Antimicrobial Resistance. *Trends Microbiol*. 2019;27(4):323–338. doi: 10.1016/j.tim.2018.12.010
13. Goodman C, Keating G, Georgousopoulou E, Hesse C, Levett K. Probiotics for the prevention of antibiotic-associated diarrhoea: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2021;11(8):e043054. doi: 10.1136/bmjopen-2020-043054
14. Kuralkar P, Kuralkar SV. Role of herbal products in animal production — An updated review. *J Ethnopharmacol*. 2021;278:114246. doi: 10.1016/j.jep.2021.114246
15. Vatnikov Y, Yousefi M, Engashev S, Rudenko P, Lutsay V, Kulikov E, et al. Clinical and hematological parameters for selecting the optimal dose of the phytopreparation “Deprim”, containing an extract of the herb *Hypericum perforatum* L., in husbandry. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020;12(Suppl 1):2731–2742. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP1.401
16. Süntar I, Oyardı O, Akkol EK, Özçelik B. Antimicrobial effect of the extracts from *Hypericum perforatum* against oral bacteria and biofilm formation. *Pharm Biol*. 2016;54(6):1065–1070. doi: 10.3109/13880209.2015.1102948
17. Nazlı O, Baygar T, Demirci Dönmez ÇE, Dere Ö, Uysal Aİ, Aksözek A, et al. Antimicrobial and antibiofilm activity of polyurethane/*Hypericum perforatum* extract (PHPE) composite. *Bioorg Chem*. 2019;82:224–228. doi: 10.1016/j.bioorg.2018.08.017
18. Walsh TR, Efthimiou J, Dréno B. Systematic review of antibiotic resistance in acne: an increasing topical and oral threat. *The Lancet Infect Dis*. 2016;16(3):e23–e33. doi: 10.1016/S1473-3099(15)00527-7
19. Vasconcelos NG, Croda J, Simionatto S. Antibacterial mechanisms of cinnamon and its constituents: A review. *Microb Pathog*. 2018;120:198–203. doi: 10.1016/j.micpath.2018.04.036
20. Abdul Kari Z, Wee W, Mohamad Sukri SA, Che Harun H, Hanif Reduan MF, Irwan Khoo M, et al. Role of phytochemicals in relieving the impacts of *Aeromonas hydrophila* infection on aquatic animals: A mini-review. *Front Vet Sci*. 2022;9:1023784. doi: 10.3389/fvets.2022.1023784

Об авторах:

Родионова Наталья Юрьевна — ассистент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: rodionova-nyu@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-8728-2594 SPIN-код: 8032–5437

Руденко Павел Анатольевич — доктор 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: pavelrudenko76@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-0418-9918 SPIN-код: 4883–1758

Сотникова Елена Дмитриевна — 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: sotnikova-ed@rudn.ru

ORCID: 0000-0003-1253-1573 SPIN-код: 5511–3661

Прозоровский Иван Ежиевич — ассистент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: prozorovskiy-ie@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-1849-3849

Шопинская Марина Ивановна — 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: mishopinskaya@mail.ru

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

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

Семёнова Валентина Ивановна — 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: semenova-vi@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-1610-1637 spin-код: 2152–5318



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-370-382

EDN: HBBYLN

УДК 619:636.8:615

Научная статья / Research article

Действие фарнезола на чувствительность микроорганизмов из бактериально-грибковой биопленки к антимикробным средствам *in vitro*

Н.П. Сачивкина¹  , О.В. Нечет¹ , И.С. Гашимова¹ ,
Д.В. Кондратьева² , Н.В. Сахно³ 

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

²Частный конный ветеринарный врач Москвы и Московской области, г. Москва, Российская Федерация

³Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина, г. Орел, Российская Федерация

 sachivkina@yandex.ru

Аннотация. Исследовано 2 микроорганизма — *Staphylococcus aureus* и *Candida albicans*, выделенных из смешанной бактериально-грибковой биопленки раны лошади. В лаборатории определяли профиль резистентности этих клинических штаммов к антимикробным средствам стандартным диско-диффузионным методом на плотной питательной среде. Далее к дискам добавляли Фарнезол в концентрациях 12,5...200 мкМ/мл (опыт) или физиологический раствор (контроль). В ходе исследования показано, что в большинстве случаев при добавлении Фарнезола регистрируется увеличение чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам и нет случаев отрицательного влияния Фарнезола на чувствительность. Причем в процентном соотношении лучшие результаты синергизма отмечены в сочетании с противогрибковыми препаратами, нежели с антибактериальными. Есть и уникальный показатель: чувствительность *C. albicans* к Нистатину и Миконазолу выросла вдвое при добавлении Фарнезола в концентрации 25...200 мкМ/мл. Кроме того, доказано что клинический штамм золотистого стафилококка был полностью резистентен к пеницилину, а при добавлении Фарнезола чувствительность появилась. Аналогично изначально наблюдалась резистентность штамма кандиды к Амфотерицину В, а с Фарнезолом даже в небольших концентрациях этот препарат стал работать. Данные *in vivo* свидетельствуют об адьювантном эффекте Фарнезола в сочетании с большинством антибиотиков и/или противогрибковых препаратов.

© Сачивкина Н.П., Нечет О.В., Гашимова И.С., Кондратьева Д.В., Сахно Н.В., 2024



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

Ключевые слова: *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, рана лошади, антибиотики, противогрибковые препараты

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Коммерческий препарат Фарнезол (Sigma-Adrich, Германия) приобретался на собственные средства Н.П. Сачивкиной, поскольку является единственным очищенным препаратом без дополнительных примесей.

Вклад авторов: Н.П. Сачивкина и Д.В. Кондратьева придумали идею и дизайн исследования; О.В. Нечет и И.С. Гашимова осуществляли сбор и обработку материалов, выполняли анализ полученных данных; Н.П. Сачивкина и Н.В. Сахно написали текст статьи. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

История статьи: поступила в редакцию 17 апреля 2024 г., принята к публикации 8 мая 2024 г.

Для цитирования: Сачивкина Н.П., Нечет О.В., Гашимова И.С., Кондратьева Д.В., Сахно Н.В. Действие фарнезола на чувствительность микроорганизмов из бактериально-грибковой биопленки к анти-микробным средствам *in vitro* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 370—382. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-370-382

The effect of Farnesol on sensitivity of microorganisms from bacterial-fungal biofilm to antimicrobial agents *in vitro*

Nadezhda P. Sachivkina¹  , Oksana V. Nechet¹ , Iman S. Gashimova¹ ,
Diana V. Kondrateva² , Nikolay V. Sakhno³ 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²Private equine veterinarian in Moscow and Moscow region, Moscow, Russian Federation

³Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russian Federation

 sachivkina@yandex.ru

Abstract. Two microorganisms — *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans* isolated from a mixed bacterial-fungal biofilm of horse wound were studied. Resistance profile of these clinical strains to antimicrobial agents was determined using standard disc diffusion method on solid nutrient medium in the laboratory. Next, Farnesol was added to the disks at concentrations of 12.5...200 μ M/ml (experiment) or physiologic saline solution (control). The experiments showed that in most cases addition of Farnesol increased sensitivity of microorganisms to antimicrobial drugs, and there were no cases of a negative effect of Farnesol on sensitivity. Moreover, the best results of synergism were observed in combination with antifungal drugs rather than with antibacterial drugs. There were also unique indicators: sensitivity of *C. albicans* to Nystatin and Miconazole doubled after the addition of Farnesol at a concentration of 25...200 μ M/ml. Furthermore, it was proved that the clinical strain of *S. aureus* was completely resistant to penicillin. And sensitivity appeared after the addition of Farnesol. A similar situation was with the *Candida* strain: resistance to Amphotericin B was initially observed, and in combination with Farnesol, this drug began to work even in small concentrations. *In vivo* data indicate that Farnesol has an adjuvant effect in combination with most antibiotics and/or antifungal drugs.

Keywords: *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, horse wound, Farnesol, antibiotics, antifungal drugs.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest. The commercial drug Farnesol (Sigma-Adrich, Germany) was purchased by Sachivkina N.P. since it is the only purified drug without additional impurities.

Authors contribution. Sachivkina N.P. and Kondrateva D.V. developed and designed the experiments; Nechet O.V. and Gashimova I.S. collected and analyzed the data; Sakhno N.V. wrote the paper.

Article history: Received: 17 April 2024. Accepted: 8 May 2024.

For citation: Sachivkina NP, Nechet OV, Gashimova IS, Kondrateva DV, Sakhno NV. The effect of Farnesol on sensitivity of microorganisms from bacterial-fungal biofilm to antimicrobial agents *in vitro*. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):370–382. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-370-382

Введение

В научной литературе пристальное внимание уделяется изучению лекарственных средств растительного происхождения и возможности их использования для терапии инфекционных заболеваний [1, 2]. Впервые о фарнезоле в микробиологии заговорили в 2001 г. [3]. Оказалось, что этот сесквитерпен с алифатической углеродной цепью является одной из молекул кворума дрожжеподобных грибов (ДПГ) *Candida albicans* — важного патогена человека и животных. Фарнезол способен блокировать трубкообразование у этих грибов и развитие их биопленок [4]. Позже появились сообщения об антигрибковых свойствах фарнезола по отношению к плесневым грибам *Aspergillus nidulans* и *Aspergillus fumigatus* [5, 6]. В следствии этих новостей возобновился интерес к фарнезолу и родственным ему молекулам, например, 2,3-дигидрофарнезолу, как потенциальным новым противогрибковым препаратам. Например, Дж. Браш с соавт. в 2014 г. подробно описали их эффективность против дерматофитов [7], а А. Катрагко в 2015 г. продемонстрировал их синергетическую эффективность с флуконазолом, амфотерицином В и микафунгином в биопленках *C. albicans* [8]. В 2020 г. Ф. Нэджи с соавт. сообщили, что фарнезол подавляет рост и способность *Candida auris* образовывать биопленки [9]. В 2022 г. Дж. Деккерова и др. подтвердили синергетический эффект фарнезола с флуконазолом на модели *C. auris* [10]. А в 2023 г. Ф. Никуманэш с соавт. подтвердили синергизм между фарнезолом с флуконазолом или итраконазолом, в результате чего восстанавливалась исходная чувствительность устойчивых к азолу *C. albicans* и *C. parapsilosis* [11].

Но фокусироваться только на биопленках грибов было бы неправильно, так как чаще всего в организме биопленки состоят из смешанных видов микробов. Например, кандиды очень часто в качестве партнера выбирают стафилококков [12]. Их совместная работа обычно является показателем неблагоприятного исхода. Особенно восприимчивы к полимикробным биопленкам пациенты с ослабленным иммунитетом. Логично, что в 2006 г. появилась работа [13], подтверждающая антибактериальное действие фарнезола по отношению к золотистому стафилококку. Но не это самое главное. Ведь антибактериальные свойства фарнезола как компонента растительного происхождения давно известны фармацевтической промышленности и активно используются в косметологической продукции. Главное, что было доказано в этой работе, что фарнезол повышал чувствительность *S. aureus* к противомикробным препаратам. Например, резистентные штаммы стафилококков к гентамицину становились чувствительными к нему при добавлении фарнезола в концентрации 150 мМ. А противомикробный эффект всех антибиотиков, к кото-

рым штаммы были и так чувствительны, увеличивался в несколько раз. Эффект синергизма фарнезола и гентамицина повторился и на стафилококковых биопленках. Комбинированный эффект гентамицина в дозе, в 2,5 раза превышающей минимальную подавляющую концентрацию, и фарнезола в концентрации 100 μM позволил снизить бактериальные популяции более, чем в 2 раза [13]. Однако эти исследования проводились с применением однократной дозы фарнезола и гентамицина на 24-часовых сформированных биопленках. Учитывая тот факт, что обычное лечение большинства биопленочных инфекций заключается в пролонгированном приеме или введении антибиотиков в течение нескольких дней или даже недель, фарнезол может демонстрировать еще более высокую эффективность *in vivo*.

Механизм действия фарнезола на *Staphylococcus aureus* был раскрыт японскими учеными в 2016 г. Они исследовали действие фарнезола 100 μM на цитоплазматическую мембрану бактериальных клеток. Концентрация ионов калия в живой бактериальной клетке выше, чем вне клетки. А концентрация ионов натрия, наоборот, снаружи клетки выше, чем внутри. Изменения концентрации ионов калия и натрия в бактериальной суспензии наблюдались при добавлении фарнезола. Концентрация ионов калия повышалась, а концентрация ионов натрия снижалась. Их различия были статистически значимыми ($p < 0,05$). Эти результаты показали, что ионы калия, существующие в бактериальной клетке, вытекали наружу, а ионы натрия, находящиеся снаружи, текли внутрь клетки. Это означает, что бактериальная цитоплазматическая мембрана была повреждена и потеряла свой гомеостаз. Соответственно, фарнезол проникает в цитоплазматическую мембрану клеток *S. aureus* и вызывает ее полное или частичное разрушение. Этот факт был подтвержден обратным опытом: эффекты фарнезола уменьшались при добавлении каротиноида, который был стабилизирующим «заживляющим» препаратом для билипидного слоя [14].

Но самое интересное явление было раскрыто М.Дж. Варго с соавт. в 2006 г. Их исследования были направлены на выяснение потенциальной роли фарнезола как молекулы кворума в управлении динамикой между *C. albicans* и *S. aureus* внутри смешанной биопленки. Было доказано, что фарнезол вырабатывается кандидами не сразу, не в моменте адгезии и прикрепления, а с возрастом биопленки. Максимальные концентрации фарнезола составляли 40 μM в зрелой 24–48 часовой биопленке, и при дальнейшем культивировании его концентрация не повышалась [15].

Эти результаты очень важны, поскольку в следующем исследовании Е.Ф. Конг с соавт. в 2017 г. доказал обратный эффект фарнезола по отношению к *S. aureus*. А именно: добавление 30...40 μM фарнезола повышало устойчивость стафилококка к ванкомицину. Опыт заключался в следующем: питательную среду, в которой несколько дней культивировали биопленки *C. albicans*, слили, профильтровали от клеток грибов, замерили концентрацию фарнезола. Она составляла 40 μM . В эту отработанную среду добавили стафилококк и после суток инкубации измерили стандартным диско-диффузионным методом его чувствительность к противомикробным препаратам. В качестве контроля использовали стафилококк, который культивировали в среде после мутантного штамма кандид, который не способен

вырабатывать фарнезол. Значит, в небольших концентрациях — до 40 μM , фарнезол не усиливает действие антибиотиков, а наоборот, усиливает резистентность патогена. При искусственном добавлении в питательную среду фарнезола (50 μM и выше) наблюдалось большая восприимчивость *S. aureus* к антибиотикам и частичная гибель бактерий. Тем самым ученые доказали доза-зависимый эффект фарнезола [16]. Поскольку ванкомицин является одним из немногих антибиотиков, которые по-прежнему эффективны против метициллин-резистентного *S. aureus* (MRSA), демонстрация повышенной толерантности *S. aureus* к этому препарату, опосредованной его взаимодействием с *C. albicans*, имеет важное клиническое значение, поскольку эти виды часто изолируются вместе в смешанных биопленках.

Цель исследования — выделить 2 патогена из смешанной бактериально-грибковой биопленки раны лошади и *in vitro* определить эффективность применения фарнезола в разных концентрациях на восприимчивость микроорганизмов к антимикробным препаратам.

Материалы и методы исследования

Для наших экспериментов использовали *S. aureus* и *C. albicans*, полученные клинически из открытой раны лошади (рис. 1, а). Работа с микроорганизмами не требовала разрешения этического комитета, поскольку проходила только в лаборатории *in vitro*. Рану лошади фарнезолом не обрабатывали. Предварительную идентификацию штаммов проводили по морфологии и результатам микроскопии колоний, выращенных на маннитол-солевом агаре для стафилококков с окраской по Граму и агаре Сабуро для ДПГ (Himedia, Индия) (рис. 1, б, в).

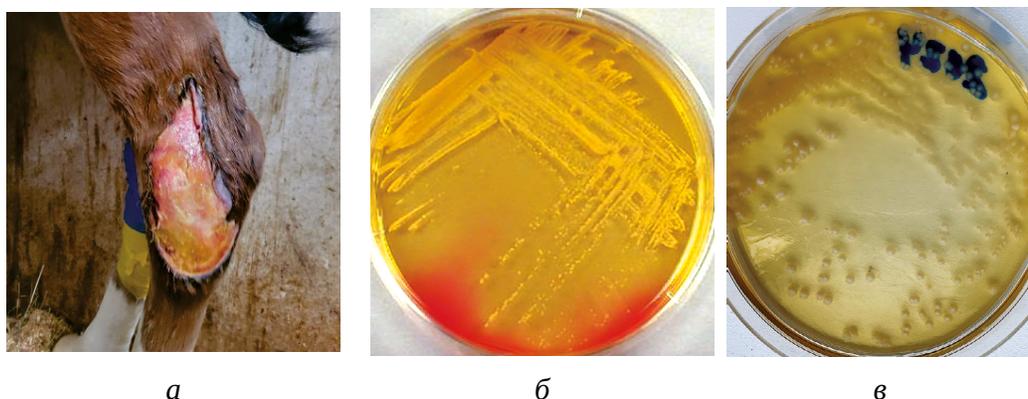


Рис. 1. Этапы выделения микроорганизмов: а — клиническая картина раны лошади, от которой были получены штаммы; б — рост *S. aureus* на маннитол-солевом агаре; в — *C. albicans* на агаре Сабуро

Источник: фото Н.П. Сачивкиной, О.В. Нечет, И.С. Гашимовой, Д.В. Кондратьевой, Н.В. Сахно

Fig. 1. Stages of microorganism isolation: а — Clinical picture of the horse's wound from which the strains were obtained; б — growth of *S. aureus* on mannitol-salt agar; в — *C. albicans* on Sabouraud agar

Source: photo taken by N.P. Sachivkina, O.V. Nechet, I.S. Gashimova, D.V. Kondrateva, N.V. Sakhno

S. aureus идентифицировали с помощью биохимической тест-системы api® (Bio Mérieux, Франция) и программного обеспечения API WEB [12]. *C. albicans* идентифицировали на хромогенной среде HiCrome Candida Agar (Himedia, Индия) по цвету зеленых колоний [17]. Затем идентификацию двух штаммов подтвердили с применением матрично-активируемой технологии лазерной десорбции/ионизации Bruker Daltonik MALDI Biotyper (Bruker Daltonik Inc., США). После учета значений показателя X, который колебался от 0 до 3, успешными считали значения от 2 до 3. Штаммы для дальнейших исследований хранили в пробирках с триптиказо-соевым бульоном (TSB, Merck, Германия) с добавлением 30 % стерильного глицерина (Sigma, США) при –18 °С.

Тестирование на устойчивость к антибиотикам проводили с антибактериальными препаратами (табл. 1) по стандартному диско-диффузионному методу на мясо-пептонном агаре (рис. 2).

Таблица 1

Антибиотики и антимикотики, используемые в эксперименте

Сокращения	Название антибиотика/противогрибкового препарата	Группа препаратов	Нагрузка на диск, мкг
FOX	Цефокситин	Цефалоспорины 2-го поколения	10
PNG	Пенициллин/бензилпенициллин	Пенициллины	1
LIN	Линкомицин	Линкозамиды	10
SXT	Триметоприм/сульфаметоксазол	Сульфонамиды-триметоприм	25
ERY	Эритромицин	Макролиды	15
CMN	Клиндамицин	Линкозамиды	2
NXN	Норфлоксацин	Фторхинолон	15
NS	Нистатин	Полиеновый макролид	50
AP	Амфотерицин-Б	Полиеновый макролид	10
KT	Кетоконазол	Производное имидазола	10
CC	Клотримазол	Производное имидазола	10
VOR	Вориконазол	Триазол	10
FU	Флуконазол	Триазол	25
MIC	Миконазол	Производное имидазола	10
IT	Итраконазол	Производное триазола	10

Table 1

Antibiotics and antimycotics used in the experiment

Abbreviations	Name of antibiotic/antifungal drug	Group of drugs	Disk load, µg
FOX	Cefoxitin	Cephalosporin of 2nd generation	10
PNG	Penicillin/benzylpenicillin	Penicillins	1
LIN	Lincomycin	Lincosamides	10
SXT	Trimethoprim/sulfamethoxazole	Sulfonamides-trimethoprim	25

End of Table 1

Abbreviations	Name of antibiotic/antifungal dru	Group of drugs	Disk load, µg
ERY	Erythromycin	Macrolides	15
CMN	Clindamycin	Lincosamides	2
NXN	Norfloxacin	Fluoroquinolone	15
NS	Nystatin	Polyene macrolide	50
AP	Amphotericin-B	Polyene macrolide	10
KT	Ketoconazole	Imidazole derivative	10
CC	Clotrimazole	Imidazole derivative	10
VOR	Voriconazole	Triazole	10
FU	Fluconazole	Triazole	25
MIC	Miconazole	Imidazole derivative	10
IT	Itraconazole	Triazole derivative	10



Рис. 2. Чувствительность штамма *Staphylococcus aureus* к антибиотикам

Источник: фото Н.П. Сачивкиной, О.В. Нечет, И.С. Гашимовой, Д.В. Кондратьевой, Н.В. Сахно

Fig. 2. Antibiotic sensitivity of *Staphylococcus aureus* strain

Source: photo taken by N.P. Sachivkina, O.V. Nechet, I.S. Gashimova, D.V. Kondrateva, N.V. Sakhno

Для определения изменения чувствительности *S. aureus* и *C. albicans* к лечебным препаратам с помощью фарнезола использовали коммерческий препарат с аналогичным названием (Sigma-Adrich, Германия), молярная масса равна 222,37 г/моль, масса вещества — 0,886 г/мл, количество вещества в молях — $0,886 : 222,37 = 0,004$ М/мл или 4000 мкМ/мл [18, 19]. Суточную культуру микроорганизмов наносили на чашки Петри газонем, затем накладывали диски с антибиотиком, плюс 25 мкл физиологического раствора (ФР) или пять различных концентраций Фарнезола (12,5...200 мкМ/мл).

Мы решили сосредоточиться на этих 5 концентрациях, поскольку, согласно нашему предыдущему опыту со штаммами *Candida* и *Malassezia*, более высокие разведения Фарнезола были не очень эффективны [20, 21]. Эксперименты с дисками проводили в трех повторностях. Данные в табл. 2 и 3 по чувствительности к антимикробным препаратам приведены без указания отклонения для лучшего визуального восприятия. Отклонение не превышало 0,4. Результаты исследований обрабатывали общепринятыми статистическими методами и считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

Результаты эксперимента по изменению чувствительности двух микроорганизмов к антимикробным препаратам (АБ — антибиотик; АМ — антимикотик) при добавлении к последним Фарнезола приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Чувствительность штамма *S. aureus* к антибиотикам и влияние пяти концентраций Фарнезола на эти результаты

Сокращенное название АБ	Время инкубации, ч	Только АБ	АБ + ФР (контроль)	АБ + 12,5 Фар	АБ + 25 Фар	АБ + 50 Фар	АБ + 100 Фар	АБ + 200 Фар
FOX	24	12	12	13 (+8,3 %)	13 (+8,3 %)	13 (+8,3 %)	15 (+25,0 %)	16 (+33,3 %)
	48	12	12	13 (+8,3 %)	13 (+8,3 %)	14 (+16,7 %)	16 (+33,3 %)	16 (+33,3 %)
PNG	24	0	0	10	10	11	12	14
	48	0	0	10	10	11	12	15
LIN	24	16	16	16	17 (+6,3 %)	17 (+6,3 %)	18 (+12,5 %)	19 (+18,8 %)
	48	15	16	16	17 (+6,3 %)	17 (+6,3 %)	18 (+12,5 %)	20 (+25,0 %)
SXT	24	16	16	17	18 (+12,5 %)	18 (+12,5 %)	20 (+25,0 %)	20 (+25,0 %)
	48	15	16	17	18 (+12,5 %)	19 (+18,8 %)	20 (+25,0 %)	20 (+25,0 %)
ERY	24	17	17	17	17	17	17	17
	48	16	17	17	17	17	17	17
CMN	24	17	17	18 (+5,9 %)	19 (+11,8 %)	19 (+11,8 %)	20 (+17,6 %)	22 (+29,4 %)
	48	17	17	18 (+5,9 %)	18 (+5,9 %)	19 (+11,8 %)	20 (+17,6 %)	22 (+29,4 %)
NXN	24	23	23	23	24 (+4,3 %)	24 (+4,3 %)	25 (+8,7 %)	27 (+17,4 %)
	48	23	23	23	23	24 (+4,3 %)	26 (+13,0 %)	27 (+17,4 %)

Примечания.

- Фарнезол увеличивает зону задержки роста.
- Фарнезол не влияет на зону задержки роста.

В скобках указаны проценты, на которые увеличивается чувствительность к антибиотикам.

Table 2

Antibiotic sensitivity of *S. aureus* strain and the effect of Farnesol five concentrations on these results

Antibiotic name	Incubation time, h	Antibiotic	Antibiotic + PSS (control)	Antibiotic + 12.5 Far	Antibiotic + 25 Far	Antibiotic + 50 Far	Antibiotic + 100 Far	Antibiotic + 200 Far
FOX	24h	12	12	13 (+ 8.3 %)	13 (+ 8.3 %)	13 (+ 8.3 %)	15 (+ 25.0 %)	16 (+ 33.3 %)
	48h	12	12	13 (+ 8.3 %)	13 (+ 8.3 %)	14 (+ 16.7 %)	16 (+ 33.3 %)	16 (+ 33.3 %)
PNG	24h	0	0	10	10	11	12	14
	48h	0	0	10	10	11	12	15
LIN	24h	16	16	16	17 (+ 6.3 %)	17 (+ 6.3 %)	18 (+ 12.5 %)	19 (+ 18.8 %)
	48h	15	16	16	17 (+ 6.3 %)	17 (+ 6.3 %)	18 (+ 12.5 %)	20 (+ 25.0 %)
SXT	24h	16	16	17	18 (+ 12.5 %)	18 (+ 12.5 %)	20 (+ 25.0 %)	20 (+ 25.0 %)
	48h	15	16	17	18 (+ 12.5 %)	19 (+ 18.8 %)	20 (+ 25.0 %)	20 (+ 25.0 %)
ERY	24h	17	17	17	17	17	17	17
	48h	16	17	17	17	17	17	17
CMN	24h	17	17	18 (+ 5.9 %)	19 (+ 11.8 %)	19 (+ 11.8 %)	20 (+ 17.6 %)	22 (+ 29.4 %)
	48h	17	17	18 (+ 5.9 %)	18 (+ 5.9 %)	19 (+ 11.8 %)	20 (+ 17.6 %)	22 (+ 29.4 %)
NXN	24h	23	23	23	24 (+ 4.3 %)	24 (+ 4.3 %)	25 (+ 8.7 %)	27 (+ 17.4 %)
	48h	23	23	23	23	24 (+ 4.3 %)	26 (+ 13.0 %)	27 (+ 17.4 %)

Note.

- Farnesol increases the inhibition zone.
- Farnesol does not affect the inhibition zone.

The percentages by which antibiotic sensitivity increases are indicated in parentheses.

Таблица 3

Чувствительность штамма *C. albicans* к антимикотикам и влияние пяти концентраций Фарнезола на эти результаты

Сокращенное название АМ	Время инкубации	Только АМ	АМ+ ФР (контроль)	АМ + 12.5 Фар	АМ + 25 Фар	АМ + 50 Фар	АМ + 100 Фар	АМ+ 200 Фар
NS	24h	10	10	17 (+ 70,0 %)	20 (+ 100,0 %)	21 (+ 110,0 %)	21 (+ 110,0 %)	21 (+ 110,0 %)
	48h	10	10	16 (+ 60,0 %)	16 (+ 60,0 %)	18 (+ 80,0 %)	18 (+ 80,0 %)	18 (+ 80,0 %)
AP	24h	0	0	8	10	11	11	11
	48h	0	0	6	10	11	11	11
КТ	24h	13	13	13	13	15 (+ 15,4 %)	15 (+ 15,4 %)	16 (+ 23,1 %)
	48h	12	13	13	13	14 (+ 7,7 %)	15 (+ 15,4 %)	16 (+ 23,1 %)
СС	24h	14	14	14	14	14	14	15 (+ 7,1 %)
	48h	13	13	13	13	13	13	15 (+ 15,4 %)

Окончание табл. 3

Сокращенное название АМ	Время инкубации	Только АМ	АМ+ ФР (контроль)	АМ+ 12.5 Фар	АМ+ 25 Фар	АМ+ 50 Фар	АМ+ 100 Фар	АМ+ 200 Фар
VOR	24h	17	17	18 (+ 5,9 %)	19 (+ 11,8 %)	19 (+ 11,8 %)	20 (+ 17,6 %)	20 (+ 17,6 %)
	48h	16	17	18 (+ 5,9 %)	18 (+ 5,9 %)	19 (+ 11,8 %)	20 (+ 17,6 %)	20 (+ 17,6 %)
FU	24h	8	8	8	10 (+ 25,0 %)	11 (+ 37,5 %)	11 (+ 37,5 %)	11 (+ 37,5 %)
	48h	6	6	6	10 (+ 66,7 %)	11 (+ 83,3 %)	11 (+ 83,3 %)	11 (+ 83,3 %)
MIC	24h	11	11	18 (+ 63,7 %)	19 (+ 72,7 %)	19 (+ 72,7 %)	20 (+ 81,8 %)	22 (+ 100,0 %)
	48h	11	11	18 (+ 63,7 %)	18 (+ 63,7 %)	19 (+ 72,7 %)	20 (+ 81,8 %)	22 (+ 100,0 %)
IT	24h	13	13	13	14 (+ 7,7 %)	14 (+ 7,7 %)	14 (+ 7,7 %)	15 (+ 15,4 %)
	48h	13	13	13	13	14 (+ 7,7 %)	14 (+ 7,7 %)	15 (+ 15,4 %)

Примечания.

- Фарнезол увеличивает зону задержки роста
- Фарнезол не влияет на зону задержки роста

В скобках указаны проценты, на которые увеличивается чувствительность к антибиотикам.

Table 3

Sensitivity of the *C. albicans* strain to antimycotics and the effect of five concentrations of Farnesol on these results

Anti-mycotic name	Incubation time, h	Antimycotic	Antimycotic + PSS (control)	Antimycotic + 12.5 Far	Antimycotic + 25 Far	Antimycotic + 50 Far	Antimycotic + 100 Far	Antimycotic + 200 Far
NS	24h	10	10	17 (+ 70.0 %)	20 (+ 100.0 %)	21 (+ 110.0 %)	21 (+ 110.0 %)	21 (+ 110.0 %)
	48h	10	10	16 (+ 60.0 %)	16 (+ 60.0 %)	18 (+ 80.0 %)	18 (+ 80.0 %)	18 (+ 80.0 %)
AP	24h	0	0	8	10	11	11	11
	48h	0	0	6	10	11	11	11
KT	24h	13	13	13	13	15 (+ 15.4 %)	15 (+ 15.4 %)	16 (+ 23.1 %)
	48h	12	13	13	13	14 (+ 7.7 %)	15 (+ 15.4 %)	16 (+ 23.1 %)
CC	24h	14	14	14	14	14	14	15 (+ 7.1 %)
	48h	13	13	13	13	13	13	15 (+ 15.4 %)
VOR	24h	17	17	18 (+ 5.9 %)	19 (+ 11.8 %)	19 (+ 11.8 %)	20 (+ 17.6 %)	20 (+ 17.6 %)
	48h	16	17	18 (+ 5.9 %)	18 (+ 5.9 %)	19 (+ 11.8 %)	20 (+ 17.6 %)	20 (+ 17.6 %)
FU	24h	8	8	8	10 (+ 25.0 %)	11 (+ 37.5 %)	11 (+ 37.5 %)	11 (+ 37.5 %)
	48h	6	6	6	10 (+ 66.7 %)	11 (+ 83.3 %)	11 (+ 83.3 %)	11 (+ 83.3 %)
MIC	24h	11	11	18 (+ 63.7 %)	19 (+ 72.7 %)	19 (+ 72.7 %)	20 (+ 81.8 %)	22 (+ 100.0 %)
	48h	11	11	18 (+ 63.7 %)	18 (+ 63.7 %)	19 (+ 72.7 %)	20 (+ 81.8 %)	22 (+ 100.0 %)
IT	24h	13	13	13	14 (+ 7.7 %)	14 (+ 7.7 %)	14 (+ 7.7 %)	15 (+ 15.4 %)
	48h	13	13	13	13	14 (+ 7.7 %)	14 (+ 7.7 %)	15 (+ 15.4 %)

Note.

- Farnesol increases the inhibition zone.
- Farnesol does not affect the inhibition zone.

The percentages by which sensitivity to antimycotics increases are indicated in parentheses.

Из табл. 2 следует, что клинический штамм золотистого стафилококка был полностью резистентен к пенициллину, а при добавлении Фарнезола чувствительность появилась. Аналогичная ситуация прослеживается и со штаммом кандиды: изначально мы наблюдали резистентность к Амфотерицину В, а с Фарнезолом даже в небольших концентрациях этот препарат стал работать.

Однако надо обратить внимание и на наличие результатов с некоторыми препаратами, где Фарнезол никак не повлиял на чувствительность: это у *S. aureus* с Эритромицином и у *C. albicans* с Клотримазолом. Последний препарат все же «сдался» при добавлении Фарнезола в наибольшей концентрации 200 мкМ/мл.

Таким образом, в большинстве случаев при добавлении Фарнезола регистрируется увеличение чувствительности микроорганизмов к препаратам в опыте по сравнению с контролем. Причем в процентном соотношении лучшие результаты синергизма отмечены в сочетании с противогрибковыми препаратами, нежели с антибактериальными. Есть и уникальный показатель (см. табл. 3): чувствительность *C. albicans* к Нистатину и Миконазолу выросла вдвое при добавлении Фарнезола в концентрации 25...200 мкМ/мл. Помимо этого, наблюдается интересная тенденция: через 48 часов инкубации зона задержки роста стафилококка вокруг дисков чуть увеличивается за счет действия Фарнезола по сравнению с диаметром через 24 часа инкубации. А у грибов, наоборот, зона задержки роста при увеличении времени инкубации с 24 до 48 часов чуть уменьшается или остается такой же.

Заключение

Доказано эффективное симбиотическое действие Фарнезола с антимикробными препаратами по отношению к патогенным или условно-патогенным микроорганизмам. Таким образом, местное применение Фарнезола при микст-инфекции окажет воздействие сразу на несколько микроорганизмов в смешанной биопленке. Данные *in vivo* свидетельствуют о том, что в сочетании с большинством антибиотиков и/или противогрибковых препаратов Фарнезол имеет адьювантный эффект.

Библиографический список / References

1. Sachivkina N, Karamyan A, Semenova V, Ignatiev A, Abdurasulov A, Muratova R, et al. The Effects of *Angelica ternata* Extract from Kyrgyzstan on the Formation of *Candida albicans* ATCC 10231 Biofilms. *Appl Sci*. 2023;13(21):12042. doi: 10.3390/app132112042
2. Kumar R, Das J, Rode S, Kaur H, Shah V, Verma P, et al. Farnesol dehydrogenase from *Helicoverpa armigera* (Hübner) as a promising target for pest management: molecular docking, in vitro and insect bioassay studies using geranylgeraniol as potential inhibitor. *3 Biotech*. 2023;13(6):175. doi: 10.1007/s13205-023-03598-9
3. Hornby JM, Jensen EC, Lisec AD, Tasto JJ, Jahnke B, Shoemaker R, et al. Quorum sensing in the dimorphic fungus *Candida albicans* is mediated by farnesol. *Appl Environ Microbiol*. 2001;67(7):2982–2992. doi: 10.1128/AEM.67.7.2982-2992.2001
4. Ramage G, Saville SP, Wickes BL, Lopez-Ribot JL. Inhibition of *Candida albicans* biofilm formation by farnesol, a quorum-sensing molecule. *Appl Environ Microbiol*. 2002;68(11):5459–5463. doi: 10.1128/aem.68.11.5459-5463.2002
5. Semighini CP, Hornby JM, Dumitru R, Nickerson KW, Harris SD. Farnesol-induced apoptosis in *Aspergillus nidulans* reveals a possible mechanism for antagonistic interactions between fungi. *Mol Microbiol*. 2006;59(3):753–764. doi: 10.1111/j.1365-2958.2005.04976.x

6. Shirliff ME, Krom BP, Meijering RA, Peters BM, Zhu J, Scheper MA, et al. Farnesol-induced apoptosis in *Candida albicans*. *Antimicrob Agents Chemother*. 2009;53(6):2392–2401. doi: 10.1128/AAC.01551-08
7. Brasch J, Horter F, Fritsch D, Beck-Jendroschek V, Tröger A, Francke W. Acyclic sesquiterpenes released by *Candida albicans* inhibit growth of dermatophytes. *Med Mycol*. 2014;52(1):46–55. doi: 10.3109/13693786.2013.814174
8. Katragkou A, McCarthy M, Alexander EL, Antachopoulos C, Meletiadiis J, Jabra-Rizk MA, et al. In vitro interactions between farnesol and fluconazole, amphotericin B, or micofungin against *Candida albicans* biofilms. *J Antimicrob Chemother*. 2015;70(2):470–478. doi: 10.1093/jac/dku374
9. Nagy F, Vitalis E, Jakab A, Borman AM, Forgacs L, Toth Z, et al. In vitro and in vivo effect of exogenous farnesol exposure against *Candida auris*. *Front Microbiol*. 2020;11:957. doi: 10.3389/fmicb.2020.00957
10. Dekkerova J, Cernakova L, Kendra S, Borghi E, Ottaviano E, Willinger B, et al. Farnesol boosts the antifungal effect of fluconazole and modulates resistance in *Candida auris* through regulation of the CDR1 and ERG11 genes. *J Fungi*. 2022;8(8):783. doi: 10.3390/jof8080783
11. Nikoomanesh F, Falahatinejad M, Cernakova L, dos Santos ALS, Mohammadi SR, Rafiee M, et al. Combination of farnesol with common antifungal drugs: inhibitory effect against *Candida* species isolated from women with RVVC. *Medicina*. 2023;59(4):743. doi: 10.3390/medicina59040743
12. Lenchenko E, Sachivkina N, Petrukhina O, Petukhov N, Zharov A, Zhabo N, Avdonina M. Anatomical, pathological, and histological features of experimental respiratory infection of birds by biofilm-forming bacteria *Staphylococcus aureus*. *Veterinary World*. 2024;17(3):612–619. doi: 10.14202/vetworld.2024.612-619
13. Jabra-Rizk MA, Meiller TF, James CE, Shirliff ME. Effect of farnesol on *Staphylococcus aureus* biofilm formation and antimicrobial susceptibility. *Antimicrob Agents Chemother*. 2006;50(4):1463–1469. doi: 10.1128/AAC.50.4.1463-1469.2006
14. Inoue Y, Togashi N, Hamashima H. Farnesol-induced disruption of the *Staphylococcus aureus* cytoplasmic membrane. *Biol Pharm Bull*. 2016; 39(5):653–656. doi: 10.1248/bpb.b15-00416
15. Wargo MJ, Hogan DA. Fungal-bacterial interactions: a mixed bag of mingling microbes. *Curr Opin Microbiol*. 2006;9(4):359–364. doi: 10.1016/j.mib.2006.06.001
16. Kong EF, Tsui C, Kuchariková S, Van Dijck P, Jabra-Rizk MA. Modulation of *Staphylococcus aureus* response to antimicrobials by the *Candida albicans* quorum sensing molecule farnesol. *Antimicrob Agents Chemother*. 2017;61(12):e01573–17. doi: 10.1128/AAC.01573-17
17. Boone CHT, Parker KA, Gutzmann DJ, Atkin AL, Nickerson KW. Farnesol as an antifungal agent: comparisons among MTL α and MTL α haploid and diploid *Candida albicans* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Front Physiol*. 2023;14:1207567. doi: 10.3389/fphys.2023.1207567
18. Erdal B, Baylan B, Batar B, Öztürk A, Topçu B. Investigation of the Effect of Farnesol on Biofilm Formation by *Candida albicans* and *Candida parapsilosis* complex isolates. *Mikrobiyol Bul*. 2024;58(1):49–62. doi: 10.5578/mb.20249905r
19. Li T, Liu ZH, Fan LY, Zhang Z, Bai HH, Wang FJ, et al. The fungal quorum-sensing molecule, farnesol, regulates the immune response of vaginal epithelial cells against *Candida albicans*. *BMC Microbiol*. 2023;23(1):251. doi: 10.1186/s12866-023-02987-7
20. Olabode IR, Sachivkina N, Karamyan A, Mannapova R, Kuznetsova O, Bobunova A, et al. In vitro activity of farnesol against *Malassezia pachydermatis* isolates from otitis externa cases in dogs. *Animals*. 2023;13(7):1259. doi: 10.3390/ani13071259
21. Sachivkina N, Senyagin A, Podoprigora I, Vasilieva E, Kuznetsova O, Karamyan A, et al. Enhancement of the antifungal activity of some antimycotics by farnesol and reduction of *Candida albicans* pathogenicity in a quail model experiment. *Veterinary World*. 2022;15(4):848–854. doi: 10.14202/vetworld.2022.848-854

Об авторах:

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

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

Нечет Оксана Викторовна — руководитель Лабораторного центра «Биохим», заместитель директора НОЦ «Нанотехнологии» института биохимической технологии и нанотехнологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 10, корп. 2; e-mail: nechet-ov@rudn.ru

ORCID: 0009-0002-3855-5653

Гашимова Иман Солтановна — магистрант института биохимической технологии и нанотехнологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 10, корп. 2; e-mail: 1032220115@rudn.ru

ORCID: 0009-0004-0645-3980 SPIN-код: 3661–9354

Кондратьева Диана Валерьевна — частный конный ветеринарный врач Москвы и Московской области, основатель мобильного конного госпиталя Moscow Equine Services, Российская Федерация, г. Москва; e-mail: Diakondratieva@gmail.com

ORCID: 0009-0001-4387-8281

Сахно Николай Владимирович — доктор ветеринарных наук, доцент, профессор кафедры эпизоотологии и терапии, Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина, Российская Федерация, 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, д. 69; e-mail: sahnoorelsau@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3281-1081 SPIN-код: 5461–3191

About authors:

Sachivkina Nadezhda Pavlovna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary Medicine, RUDN University, 8 Miklukho-Maklaya st., bldg. 2, Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: sachivkina@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1100-929X SPIN-code: 1172–3163

Nechet Oksana Viktorovna — head of the Microbiological Laboratory Center “Biochim”, deputy director of the Research Center “Nanotechnologies” of the Institute of Biochemical Technology and Nanotechnology, RUDN University, 10 Miklukho-Maklaya st., bldg. 2, Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: nechet-ov@rudn.ru

ORCID: 0009-0002-3855-5653

Gashimova Iman Soltanovna — Master student, Institute of Biochemical Technology and Nanotechnology, RUDN University, 10 Miklukho-Maklaya st., bldg. 2, Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: 1032220115@rudn.ru

ORCID: 0009-0004-0645-3980 SPIN-code: 3661–9354

Kondratieva Diana Valerievna — private equestrian veterinarian in Moscow and Moscow region, founder of the mobile equestrian hospital Moscow Equine Services, Moscow, Russian Federation; e-mail: Diakondratieva@gmail.com

ORCID: 0009-0001-4387-8281

Sakhno Nikolay Vladimirovich — Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Professor, Department of Epizootology and Therapy, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, 69 Generala Rodina st., Orel, 302019, Russian Federation; e-mail: sahnoorelsau@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3281-1081 SPIN-code: 5461–3191



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-383-392

EDN: GCKXAE

УДК 636.4:611.013.11:579.8

Научная статья / Research article

Влияние бактериальной контаминации на биологическую полноценность сперматозоидов у хряков

А.В. Шмидт¹ , Е.О. Рысцова¹  , Б.С. Иолчиев² , Т.В. Чубенко¹ ¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация²Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, Московская обл.,

Российская Федерация

 rystsova_eo@pfur.ru

Аннотация. Продуктивное долголетие свиноматок приводит к росту производства товарной продукции. Однако более половины выбраковываются после первого опороса вследствие нарушения воспроизводительных качеств под воздействием различных факторов, в т. ч. и инфекционных заболеваний. Источником инфицирования свиноматок может служить семенной материал производителей. Имеются данные о взаимосвязи влияния инфекционных агентов на репродуктивный тракт производителей и воспалительные процессы генеративных органов самок, что приводит к снижению показателей воспроизводства. У самцов контаминация микроорганизмами семявыносящих путей напрямую влияет на качество спермопродукции и функции сперматозоидов, что в свою очередь приводит к выработке антител, активных форм кислорода и фрагментации ДНК. Для изучения влияния бактериальной обсемененности на биологическую полноценность сперматозоидов у хряков-производителей сформировали три группы животных в зависимости от активности сперматозоидов. Для исследования были взяты эякуляты хряков-производителей ($n = 46$): крупной белой породы, ландраса и породы дюрок. Возраст производителей составил 18...40 месяцев, период проведения январь — декабрь. Для определения качественных и количественных показателей сперматозоидов использовали программу Argus CASA (ArgusSoft, Санкт-Петербург, Россия) на основе CASA-технологии с применением методов однофакторного анализа. Комплексная оценка эякулятов хряков-производителей показала наличие дрожжей и дрожжеподобных грибов (плесени) в 44 % исследуемых образцах, в которых общее количество колониеобразующих микроорганизмов составило $4895 \pm 37,5$ КОЕ/см³, что в 8,1 раза больше по сравнению с образцами без контаминации, при этом доля сперматозоидов с прогрессивно-подвижным движением ниже на 10 %. В группе с высокой микробной контаминацией (4895 КОЕ/см³) отмечались: ниже в 1,2 раза активность ($p < 0,001$), выше в 1,7 доля аномальных сперматозоидов ($p < 0,001$) и в 3,1 раза уровень фрагментации ДНК ($p < 0,001$). Корреляционный анализ между микробной контаминацией и прогрессивно-подвижными спер-

© Шмидт А.В., Рысцова Е.О., Иолчиев Б.С., Чубенко Т.В., 2024

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

матозоидами показал наличие отрицательной двусторонней корреляции $r = -0,51$ ($p < 0,01$) и положительной корреляции с аномальной морфологией $r = 0,42$ ($p < 0,05$) и фрагментацией ДНК $r = 0,56$ ($p < 0,01$). Установлены репродуктивные показатели хряков-производителей в группе с высокой бактериальной обсемененностью: оплодотворяющая способность ниже на 23 %, количество абортосов выше в 2,3 раза, частота мертворожденных и мумифицированных поросят в помете выше соответственно в 3 и в 2,5 раза.

Ключевые слова: фрагментация ДНК, подвижность, акросомы, бактериальная обсемененность, дрожжи, показатели воспроизводства

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

История статьи: поступила в редакцию 10 января 2024 г., принята к публикации 7 февраль 2024 г.

Для цитирования: Шмидт А.В., Рысцова Е.О., Иолчиев Б.С., Чубенко Т.В. Влияние бактериальной контаминации на биологическую полноценность сперматозоидов у хряков // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 383—392. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-383-392

The effect of bacterial contamination on the biological integrity of sperm in boars

Anna V. Schmidt¹ , Ekaterina O. Rystsova¹  ,
Bailar S. Iolchiev² , Tamara V. Chubenko¹ 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²All-Russian Research Institute of Animal Breeding, Moscow region, Russian Federation

 rystsova_eo@pfur.ru

Abstract. The productive longevity of sows leads to an increase in production of marketable products. However, more than half are discarded after the first farrowing due to impaired reproductive qualities under the influence of various factors including infectious diseases. The seminal material of boars can be a source of infection for sows. There is evidence of the relationship between the influence of infectious agents on the reproductive tract of producers and on inflammatory processes in the generative organs of females, which leads to a decrease in reproduction rates. In males, contamination of the sperm-carrying ducts by microorganisms directly affects the quality of sperm production and the function of spermatozoa, which in turn leads to the production of antibodies, reactive oxygen species and DNA fragmentation. To study the effect of bacterial contamination on the biological integrity of sperm in breeding boars, three groups of animals were formed depending on the activity of spermatozoa. For the study, ejaculates of Large White, Landrace and Duroc breeding boars ($n = 46$) were taken. The age of the producers ranged from 18 to 40 months; ejaculates were collected in January — December. To determine qualitative and quantitative parameters of spermatozoa, Argus CASA program (ArgusSoft, St. Petersburg, Russia) was used based on CASA technology, using single-factor analysis methods. A comprehensive assessment of the ejaculates of boar producers showed the presence of yeast and yeast-like fungi (mold) in 44% of the studied samples, in which the total number of colony-forming microorganisms was 4895 ± 37.5 CFU/cm³, which is 8.1 times more than in samples without contamination, and the proportion of progressive motile spermatozoa was lower by 10%. In the group with high microbial contamination (4895 CFU/cm³), activity was 1.2 times lower ($p < 0.001$), the proportion of abnormal spermatozoa was 1.7 times higher ($p < 0.001$) and the level of DNA fragmentation was 3.1 times higher ($p < 0.001$). Correlation analysis between microbial contamination and progressively motile spermatozoa showed a negative bilateral correlation $r = -0.51$ ($p < 0.01$) and a positive correlation with abnormal morphology $r = 0.42$ ($p < 0.05$) and DNA fragmentation $r = 0.56$ ($p < 0.01$). Reproductive indicators of boars-producers in the group with high bacterial contamination were established: fertilizing ability was 23%

lower, and the number of abortions was 2.3 times higher, and the frequency of stillbirths and mummified piglets in the litter was 3 times and 2.5 times higher, respectively.

Keywords: DNA fragmentation, motility, acrosomes, bacterial contamination, yeast, reproduction indicators

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Article history: Received: 10 January 2024. Accepted: 7 February 2024.

For citation: Schmidt AV, Rystsova EO, Iolchiev BS, Chubenko TV. The effect of bacterial contamination on the biological integrity of sperm in boars. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):383–392. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-383-392

Введение

Одним из приоритетных направлений развития аграрного сектора для обеспечения продовольственной безопасности России является отрасль свиноводства. По сравнению с предыдущими годами на 5,3 % выросло производство свинины и увеличился в два раза экспорт продукции в страны ЕАЭС. Россия вошла в десятку крупнейших поставщиков свинины на мировой рынок. Основу наращивания и поддержания высоких показателей производства продукции составляют свиноматки и срок их продуктивного использования [1].

Однако, на практике статистический анализ показывает высокую выбраковку свиноматок, до 50 % после первого опороса [1]. К основным причинам выбытия молодых свиноматок относятся заболевания, связанные с высокой продуктивностью, технологией и условиями содержания, а также инфекциями на свинокомплексах. Имеются данные о взаимосвязи влияния инфекционных агентов на репродуктивный тракт производителей и на воспалительные процессы генеративных органов самок, что приводит к снижению показателей воспроизводства [2–4].

Источником воспалительных поражений семявыносящих путей производителей чаще являются микроорганизмы условно-патогенной группы (G+ и G–), которые напрямую влияют на качество спермы [2, 5–8].

Бактериологический скрининг свежеполученной спермы хряков-производителей показывает положительный результат на наличие микроорганизмов: *Enterococcus spp* (20,5 %), грамотрицательной палочки *Stenotrophomonas maltophilia* (15,4 %), *Alcaligenes xylosoxidans* (10,3 %), *Serratia marcescens* (10,3 %), *Escherichia coli* (6,4 %), синегнойной палочки *Pseudomonas spp* (6,4 %), *Proteus mirabilis* (22,2 %) [3, 5, 9].

С одной стороны, условно-патогенная микрофлора в репродуктивном тракте самца обеспечивает защиту от доступа патогенных микроорганизмов и последующего их проникновения в организм, с другой стороны, при экстремальных условиях число колониеобразующих единиц (КОЕ/мл) увеличивается, условно-патогенная микрофлора становится патогенной и провоцирует к развитию воспалительных процессов в гениталиях [6]. Существует мнение о влиянии токсина семейства *Enterobacteriaceae* на характер и скорость движения [10] и морфометрические параметры сперматозоидов (дефекты головки, средней части и жгутика) [11, 12].

Известно о влиянии бактериальной контаминации на качество спермы, но единого мнения о пороговом значении 10^3 микробных КОЕ/мл в их этиологической значимости воспалительного процесса сформировано не полностью¹ [4, 11, 13].

При пороговом значении контаминации спермы 10^4 общего микробного показателя отмечается преждевременная акросомная реакция [4, 7], обсеменение грамположительными кокками увеличивает агглютинацию сперматозоидов [7, 11], бактерии оказывают повреждающее действие на митохондрии сперматозоидов и синтез АТФ [7, 8, 14].

Воспаление в репродуктивной системе производителей влияет на ухудшение сперматогенеза и функции сперматозоидов, что в свою очередь приводит к выработке антител и активных форм кислорода (АФК) и фрагментации ДНК сперматозоидов [7, 14].

Контаминация спермопродукции микробными ассоциациями и дрожжеподобными грибами чаще всего происходит во время забора спермы у животного (нарушение волосяного покрова, гиперемия препуциальной полости, травмы), неудовлетворительные санитарно-гигиенические условия в помещении (загрязнение воздуха в случном манеже) [5, 15], а также во время фасовки и хранения спермы при нарушении порядка и режима лаборатории (грязная лабораторная посуда, инструменты, разбавители, небрежная эквilibрация) [3, 9].

Технологические факторы: стресс, переохлаждение, условия содержания и кормления, травмы — также могут привести к снижению резистентности организма производителей и переходу непатогенной и условно-патогенной микрофлоры в патогенную, обуславливая воспалительные процессы в репродуктивном тракте.

Цель исследования — изучить взаимосвязь между биологической полноценностью сперматозоидов и уровнем контаминации микроорганизмами у хряков-производителей, приводящих к снижению репродуктивных показателей.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования были хряки-производители ($n = 46$) крупной белой породы, ландраса и породы дюрок. Возраст производителей составил 18...40 месяцев. Материалом для исследования были эякуляты, полученные в течение года.

Подвижность и морфологию сперматозоидов определяли в программе Argus CASA (ArgusSoft, Санкт-Петербург, Россия) на основе CASA-технологии. С целью определения фрагментации генетического материала в хроматине использовали метод акридин-оранжевого теста (АО-тест) и флуоресцентной микроскопии. Для оценки состояния акросом применяли метод дифференциального окрашивания. Микробиологической оценки спермы проводили использованием культурального метода. Определяли общее микробное число (КОЕ/см³).

Для создания первичной базы данных использовали Microsoft Office Excel, для статистической обработки полученных результатов — SPSS Statistics 23. Проводили однофакторный и многофакторный дисперсионные анализы.

¹ ГОСТ 33827-2016. Средства воспроизводства. Сперма хряков свежеполученная разбавленная. М.: Стандартинформ, 2016. 4 с.

Результаты исследования и обсуждение

Комплексная оценка эякулятов хряков-производителей из племенного хозяйства показала наличие дрожжей и дрожжеподобных грибов (плесени) в 44 % исследуемых образцов.

В группе образцов с высеянными дрожжами и дрожжеподобными грибами наблюдалось увеличение в 8,1 раз общего количества колониеобразующих микроорганизмов (ОМЧ) до $4895 \pm 37,5$ КОЕ/см³ и снижение на 10 % количества сперматозоидов с прогрессивно-подвижным движением.

Однофакторный дисперсионный анализ показал влияние микробной контаминации на морфометрические показатели, состояние акросом и активность сперматозоидов в сперме хряков-производителей, коэффициент *F* составил 144.

Наше исследование показало взаимосвязь между уровнем микробной контаминации и количеством сперматозоидов с прогрессивно-подвижным движением в эякуляте. Для этого сформировали три группы в зависимости от активности сперматозоидов: I группа — менее 77 %, II — от менее 78 % до более 84 % и III — более 85 % (табл. 1).

Таблица 1

Однофакторный анализ качества спермы хряков-производителей в зависимости от общего микробного числа ОМЧ, КОЕ/см³

Показатели	Содержание прогрессивно-подвижных сперматозоидов (PR) по группам		
	I группа (менее 77 %) (n = 8)	II группа (от < 78 до > 84 %) (n = 17)	III группа (более 85 %) (n = 21)
ОМЧ, КОЕ/см ³	4895,4 ± 333 ^{b,c}	620,0 ± 41,1 ^{a,c}	587,5 ± 32,4
Прогрессивно-подвижные PR, %	74,8 ± 1,4 ^{b,c}	80,67 ± 1,3 ^{a,c}	87,8 ± 1,6
Аномальная морфология, %	16,5 ± 0,8 ^{b,c}	9,8 ± 0,9	10,6 ± 1,3
Интактная акросома, %	68,0 ± 2,7 ^{b,c}	76,2 ± 3,2	85,4 ± 2,8

Примечание. Значимость влияния: $p < 0,001$.

Table 1

Single-factor analysis of the sperm quality of breeding boars, depending on the total microbial count (TMC), CFU/cm³

Indicator	Progressive motile spermatozoa (PR) content by groups		
	Group I (< 77 %) (n = 8)	Group II (78–84 %) (n = 17)	Group III (> 85 %) (n = 21)
TMC, CFU/cm ³	4895.4 ± 333 ^{b,c}	620.0 ± 41.1 ^{a,c}	587.5 ± 32.4
Progressive motile PR, %	74.8 ± 1.4 ^{b,c}	80.67 ± 1.3 ^{a,c}	87.8 ± 1.6
Abnormal morphology, %	16.5 ± 0.8 ^{b,c}	9.8 ± 0.9	10.6 ± 1.3
Intact acrosome, %	68.0 ± 2.7 ^{b,c}	76.2 ± 3.2	85.4 ± 2.8

Note. Significance level: $p < 0.001$.

Как видно из табл. 1 между группами по содержанию микробных КОЕ/см³ имеется статистически достоверная разница.

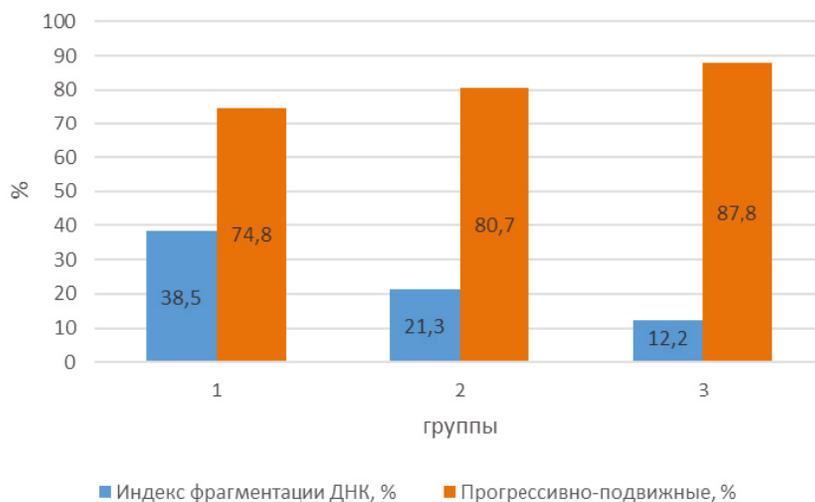
У хряков-производителей I группы содержание микроорганизмов в эякуляте превышало допустимый уровень и составило 4895 КОЕ/см³, что выше в 7,8 раз по сравнению со II группой и в 8,3 раз — с III группой ($p < 0,001$), а количество сперматозоидов с прогрессивно-подвижным движением было в 1,2 раза ниже по сравнению с III группой ($p < 0,001$).

Морфометрический анализ показал высокую частоту встречаемости аномальных сперматозоидов в свежеполученной сперме у производителей в группе с высокими параметрами контаминации — 16,5 %, что в 1,7 раз больше по сравнению со второй группой (620 КОЕ/см³) ($p < 0,001$).

Целостность акросомы отмечалась выше у хряков третьей группы (85,4 %) с высокой активностью, что выше на 25,6 % в отличие от группы с наименьшей активностью (I группа) ($p < 0,001$).

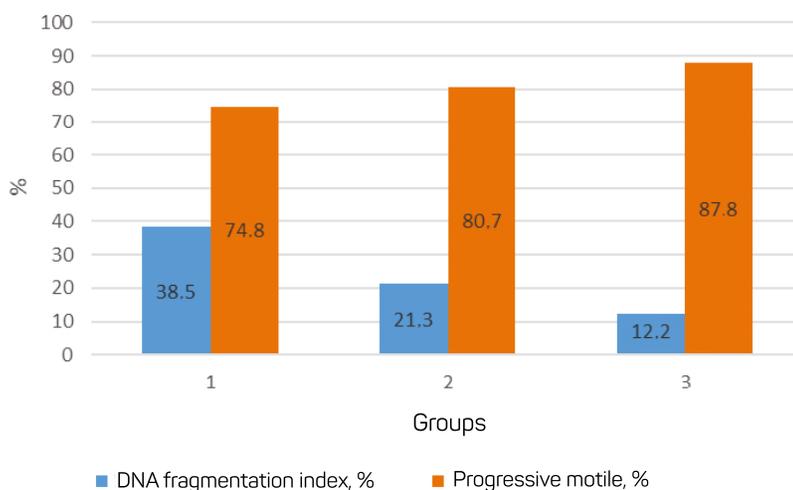
Корреляционный анализ между микробной контаминацией и прогрессивно-подвижными сперматозоидами показал наличие отрицательной двусторонней корреляции $r = -0,51$ ($p < 0,01$). Коэффициент корреляции между микробной контаминацией и аномальной морфологией составил $r = 0,42$ ($p < 0,05$) и фрагментацией ДНК $r = 0,56$ ($p < 0,01$).

Степень конденсации хроматина сперматозоидов коррелировала с их активностью. Так, индекс фрагментации ДНК в группе с наименьшим титром микроорганизмов (587,5 КОЕ/см³) составил 12,2 % и статистически значимо отличался от группы с высоким титром микроорганизмов (4895 КОЕ/см³). Разница составила 3,1 раза ($p < 0,001$) (рис.).



Уровень активности и индекс фрагментации ДНК в сперматозоидах хряков-производителей

Источник: выполнено А.В. Шмидт, Е.О. Рысцова, Б.С. Иолчиев, Т.В. Чубенко



Sperm activity level and DNA fragmentation index in boars-producers
 Source: created by A.V. Schmidt, E.O. Rystsova, B.S. Iolchiev, T.V. Chubenko

Наше исследование показало, что фрагментация ДНК сперматозоидов в группе с высоким титром микроорганизмов статистически отличалась от таковой в группе с наименьшей контаминацией.

Целостность ДНК сперматозоидов — один из факторов, влияющих на фертильность, эмбриональное развитие и частоту эмбриональной смертности, что очень актуально для отрасли свиноводства.

Высокая бактериальная обсемененность сперматозоидов оказала влияние на показатели воспроизводства у хряков-производителей (табл. 2).

Таблица 2

Воспроизводительные показатели хряков-производителей с разной степенью бактериальной обсемененности

Показатели	Содержание ОМЧ в сперматозоидах по группам, КОЕ/см ³		
	I группа 4895	II группа 620	III группа 587
Оплодотворяющая способность хряка, %	72 ± 5,6	84 ± 4,7	89 ± 3,6*
Абортировало, %	4,2 ± 0,3	2,6 ± 0,8	1,8 ± 0,4
Мертворожденных, %	7,2 ± 0,8	3,2 ± 0,6	2,8 ± 0,4
Муцифицированные поросята, %	2,4 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,8 ± 0,1

Примечание. Значимость влияния *— $p < 0,05$.

Reproductive indicators of breeding boars with different bacterial contamination

Indicator	TMC content in sperm by groups, CFU/cm ³		
	Group I 4895	Group II 620	Group III 587
Boar fertilizing ability, %	72 ± 5.6	84 ± 4.7	89 ± 3.6*
Abortions, %	4.2 ± 0.3	2.6 ± 0.8	1.8 ± 0.4
Stillbirths, %	7.2 ± 0.8	3.2 ± 0.6	2.8 ± 0.4
Mummified piglets, %	2.4 ± 0.1	1.2 ± 0.1	0.8 ± 0.1

Note. Significance level: * – $p < 0.05$.

Оплодотворяющая способность в группе хряков-производителей с высоким содержанием общего микробного числа (I группа) в эякуляте составила 72 %, что ниже на 23 % по сравнению с группой хряков-производителей с низким содержанием (III группа) ($p < 0,05$).

Отмечена частота абортотворения от хряков-производителей I группы в 2,3 выше по сравнению с III группой и 1,6 раз со II группой.

В свою очередь, число мертворожденных и мумифицированных поросят в помете хряков-производителей с высоким содержанием микроорганизмов (I группа) составила 7,2 и 2,4 %, что соответственно в 2,5 и 3 раза выше по сравнению с хряками-производителями, у которых содержание микроорганизмов было (587,5 КОЕ/см³).

Заключение

Настоящее исследование продемонстрировало в группе хряков-производителей с высокой микробной контаминацией снижение подвижности сперматозоидов, а также наличие корреляционной связи с дефектом морфологии и целостностью ДНК. Эти данные согласуются с исследованиями других авторов о негативном влиянии бактериальной контаминации на структуру, жизнеспособность и фрагментацию ДНК в сперматозоидах производителей, снижающем качество семенного материала и их воспроизводительные показатели.

Таким образом, микробное загрязнение, особенно дрожжи и дрожжеподобные грибы, оказывает влияние на биологическую полноценность сперматозоидов и снижает репродуктивный потенциал хряков-производителей.

Список литературы

1. Ковалев Ю. Развитие свиноводства в ближайшей перспективе // Комбикорма. 2023. № 7–8. С. 2–4.
2. Насибов М.Н., Аминова А.Л., Рамеев Т.В. Спермопродукция хряков крупной белой породы, используемых для репродукции // Вестник БГАУ. 2015. № 4. С. 60–61.
3. Althouse G.C., Lu K.G. Bacteriospermia in extended porcine semen // Theriogenology. 2005. Vol. 63. № 2. P. 573–584. doi: 10.1016/j.theriogenology.2004.09.031
4. Tvrdá E., Ďuračka M., Benko F., Lukáč N. Bacteriospermia — A formidable player in male subfertility // Open Life Sciences. 2022. Vol. 17. P. 1001–1029. doi: 10.1515/biol-2022-0097

5. Барзыкина С.Н., Борунова С.М., Назимкина С.Ф. Микробные ассоциации в эякуляте хряков-производителей // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии, биотехнологии и экспертизы сырья и продуктов животного происхождения: сб. трудов науч.-практ. конфер. М.: Сельскохозяйственные технологии, 2022. С. 141–142.
6. Чемезов А.П., Войтова О.О., Выборова И.С., Дружинина Е.Б., Мильникова Ю.В., Мащакевич Л.И. Неспецифические воспалительные процессы уrogenитального тракта у мужчин // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2010. № 6 (76). С. 88–90.
7. Berger G.K., Smith-Harrison L.I., Sandlow J.I. Sperm agglutination: Prevalence and contributory factors // *Andrologia*. 2019. Vol. 51. No. 5. e13254. doi: 10.1111/and.13254
8. Eini F, Kutenaei M.A., Zareei F, Dastjerdi Z.S., Shirzeyli M.H., Salehi E. Effect of bacterial infection on sperm quality and DNA fragmentation in subfertile men with Leukocytospermia // *BMC Molecular and Cell Biology*. 2021. Vol. 22. № 42. doi: 10.1186/s12860-021-00380-8
9. Нарижный А.Г., Анисимов А.Г. Биологическая полноценность разбавителя для спермы хряков в зависимости от сроков хранения и упаковочного материала // Вестник УГСХА. 2014. № 2 (26). С. 89–92.
10. Prabha V, Sandhu R, Kaur S, Sarwal A, Mavuduru R.S., Shraavan K.S. Mechanism of sperm immobilization by *Escherichia coli* // *Advances in Urology*. 2010. Vol. 1. 240268. doi: 10.1155/2010/240268
11. Смирнов М.В., Годовалов А.П., Быкова Л.П. Изучение показателей сперматозоидов, полученных из спермы с микробной обсемененностью // Молодежный инновационный вестник. 2015. Т. IV. С. 178.
12. Ďuračka M., Belić L., Tokárová K., Žiarovská J., Kačániová M., Lukáč N., Tvrďá E. Bacterial communities in bovine ejaculates and their impact on the semen quality // *Syst Biol Reprod Med*. 2021. Vol. 67. No. 6. P. 438–449. doi: 10.1080/19396368.2021.1958028
13. Пархоменко Ю.С., Чернышова И.С., Копытина К.О., Волкова И.В., Рожкова И.Н., Семенова Е.В., Масютин О.Н., Затонская Л.С. Изучение контаминации нативной и разбавленной спермы хряков микроорганизмами и чувствительности их к антибактериальным препаратам // Ветеринарный фармакологический вестник. 2018. № 1. С. 79–82. doi: 10.17238/issn2541-8203.2018.1.79
14. Agarwal A., Rana M., Qiu E., AlBunni H., Bui A.D., Henkel R. Role of oxidative stress, infection and inflammation in male infertility // *Andrologia*. 2018. Vol. 50. No. 11. e13126. doi: 10.1111/and.13126
15. Борнбаев А.В. Микробиологические показатели спермы морала, отобранной в панторезном станке после криоконсервации // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (173). С. 107–110.

References

1. Kovalev Y. Development of pig breeding in the near future. *Kombikorma*. 2023;(7–8):2–4. (In Russ.).
2. Nasibov MN, Aminova AL, Rameev TV. Sperm production of boars of large white breed used for reproduction. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2015;(4):60–61. (In Russ.).
3. Althouse GC, Lu KG. Bacteriospermia in extended porcine semen. *Theriogenology*. 2005;63(2):573–584. doi: 10.1016/j.theriogenology.2004.09.031
4. Tvrďá E, Ďuračka M, Benko F, Lukáč N. Bacteriospermia — A formidable player in male subfertility. *Open Life Sciences*. 2022;17(1):1001–1029. doi: 10.1515/biol-2022-0097
5. Barzykina SN, Borunova BM, Nazimkina SF. Microbial associations in the ejaculate of breeding boars. In: *Current problems of veterinary medicine, animal science, biotechnology and examination of raw materials and products of animal origin: conference proceedings*. Moscow; 2022. p.141–142. (In Russ.).
6. Chemezov AP, Voytova OO, Viborova IS, Druzhinina EB, Milknikova YV, Mashchakevich LI. Nonspecific inflammatory diseases of urogenital tract in men. *Bulletin of Eastern-Siberian scientific center*. 2010;(6–2):88–90. (In Russ.).
7. Berger GK, Smith-Harrison LI, Sandlow JI. Sperm agglutination: Prevalence and contribution factors. *Andrologia*. 2019;51(5):e13254. doi: 10.1111/and.13254
8. Eini F, Kutenaei MA, Zareei F, Dastjerdi ZS, Shirzeyli MH, Salehi E. Effect of bacterial infection on sperm quality and DNA fragmentation in subfertile men with Leukocytospermia. *BMC Molecular and Cell Biology*. 2021;22:42. doi: 10.1186/s12860-021-00380-8
9. Narizhny AG, Anisimov AG. Biological usefulness of a diluent for boar semen depending on storage time and packaging material. *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2014;(2):89–92. (In Russ.).
10. Prabha V, Sandhu R, Kaur S, Kaur K, Sarwal A, Mavuduru RS, et al. Mechanism of sperm immobilization by *Escherichia coli*. *Advances in Urology*. 2010;2010(1):240268. doi: 10.1155/2010/240268

11. Smirnov MV, Godovalov AP, Bykova LP. Study of sperm parameters obtained from sperm with microbial contamination. *Molodezhnyi innovatsionnyi vestnik*. 2015;4(1):178. (In Russ.).
12. Ďuračka M, Belić L, Tokárová K, Žiarovská J, Kačániová M, Lukáč N, et al. Bacterial communities in bovine ejaculates and their impact on the semen quality. *Syst Biol Reprod Med*. 2021;67(6):438–449. doi: 10.1080/19396368.2021.1958028
13. Parkhomenko YS, Chernyshova IS, Kopytina KO, Volkova IV, Rozhkova IN, Semenova EV, et al. Study of contamination of native and diluted boar seminal fluid with microorganisms and their sensitivity to antibiotics. *Bulletin of Veterinary Pharmacology*. 2018;(1):79–82. (In Russ.). doi: 10.17238/issn2541-8203.2018.1.79
14. Agarwal A, Rana M, Qiu E, AlBunni H, Bui AD, Henkel R. Role of oxidative stress, infection and inflammation in male infertility. *Andrologia*. 2018;50(11):e13126. doi: 10.1111/and.13126
15. Boranbayev AV. Microbiological indices of maral semen taken in antler cutting box after cryopreservation. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2019;(3):107–110. (In Russ.).

Об авторах:

Шмидт Анна Валиевна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедры общественного здоровья, здравоохранения и гигиены, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: anna74@list.ru

ORCID: 0000-0002-8108-7149 SPIN-код: 3935–6526

Рысцова Екатерина Олеговна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: rystsova_eo@pfur.ru

ORCID: 0000-0002-0516-6056 SPIN-код: 2027–4235

Иолчиев Байлар Садраддинович — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биологии воспроизведения сельскохозяйственных животных, Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, Российская Федерация, 141212, Московская обл., г. Пушкино, п. Лесные Поляны; e-mail: baylar2@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5386-7263 SPIN-код: 3881–6813

Чубенко Тамара Владимировна — студент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: 1032201888@pfur.ru

ORCID: 0009-0009-3800-7201 SPIN-код: 2069–3501

About authors:

Shmidt Anna Valievna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Public Health, Healthcare and Hygiene, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: anna74@list.ru

ORCID: 0000-0002-8108-7149 SPIN-code: 3935–6526

Rystsova Ekaterina Olegovna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: rystsova_eo@pfur.ru

ORCID: 0000-0002-0516-6056 SPIN-code: 2027–4235

Iolchiev Bilar Sadraddinovich — Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Biology of Reproduction of Farm Animals, All-Russian Research Institute of Animal Breeding, Lesnye Polyany vil., Pushkino, Moscow region, 141212, Russian Federation; e-mail: baylar2@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5386-7263 SPIN-code: 3881–6813

Chubenko Tamara Vladimirovna — student, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: 1032201888@pfur.ru

ORCID: 0009-0009-3800-7201 SPIN-code: 2069–3501