

ВЕСТНИК УНИВЕРСИТЕТА БИОТЕХНОЛОГИЙ

СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРИИ И БИОТЕХНОЛОГИЙ
SIBERIAN STATE UNIVERSITY OF ENGINEERING AND BIOTECHNOLOGY



Том 21 № 1/2026

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК УНИВЕРСИТЕТА БИОТЕХНОЛОГИЙ

Научный журнал
Том 21 № 1/2026

С.И. Логинов
главный редактор,
доктор биологических наук

Учредитель:
Сибирский
государственный
университет инженерии
и биотехнологий

Основан
в декабре 2005 года

Зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи и массовых
коммуникаций

ПИ № ФС 77-91191
30.03.2026.

Материалы издания
выборочно включаются
в международные базы данных
Agris, Ulrich's Periodicals Directory,
Russian Scisearch Citation Index

Электронная версия журнала
на сайте: www.elibrary.ru,
vestnigau.elpub.ru

Адрес редакции и издателя:
630039, г. Новосибирск,
ул. Добролюбова, 160, каб. 106
журнал «Вестник университета
биотехнологий»
Телефоны: +7 (383) 264-23-62;
+7 (383) 264-25-46 (факс)
E-mail: vestnik.nsau@mail.ru

Тираж 500 экз.

Редакционная коллегия:

Рудой Е.В. – д-р экон. наук, чл.-корр. РАН., ректор ФГБОУ ВО Университет биотехнологий, председатель редакционной коллегии (Новосибирск, Россия)
Абрамов Н.В. – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО Государственный аграрный университет Северного Зауралья (Тюмень, Россия)
Беляев А.А. – д-р с.-х. наук, доцент кафедры защиты растений ФГБОУ ВО Университет биотехнологий (Новосибирск, Россия)
Буджапов Л.В. – д-р биол. наук, чл.-корр. РАН., директор БурНИИСХ СО РАН (Улан-Удэ, Россия)
Булашев А.К. – д-р вет. наук, проф., проф. группы образовательных программ «Животноводство и биологические науки» Казахского агротехнического исследовательского университета им. С. Сейфуллина (Астана, Казахстан)
Васильева О.Ю. – д-р биол. наук, доцент, зав. лабораторией декоративных растений Центрального сибирского ботанического сада (Новосибирск, Россия)
Вышегуров С.Х. – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой ботаники и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО Университет биотехнологий (Новосибирск, Россия)
Галеев Р.Р. – д-р с.-х. наук, проф., проф. кафедры растениеводства и кормопроизводства ФГБОУ ВО Университет биотехнологий (Новосибирск, Россия)
Гамзиков Г.П. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник ФГБОУ ВО Университет биотехнологий (Новосибирск, Россия)
Глотов А.Г. – д-р ветеринар. наук, чл.-корр. РАН, проф., руководитель ИЭВСИДВ СФНЦ РАН (Новосибирская область, р. п. Краснообск, Россия)
Гончаров Н.П. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник ФИЦ ИЦИГ СО РАН (Новосибирск, Россия)
Добровотворская Н.И. – д-р с.-х. наук, гл. науч. сотрудник СФНЦ РАН (Новосибирская область, р. п. Краснообск, Россия)
Дубовский И.М. – д-р биол. наук, зав. лабораторией биологической защиты и биотехнологии ФГБОУ ВО Университет биотехнологий (Новосибирск, Россия)
Жучаев К.В. – д-р биол. наук, проф., проректор по научной работе ФГБОУ ВО Университет биотехнологий (Новосибирск, Россия)
Камалдинов Е.В. – д-р биол. наук, доцент, зав. кафедрой прикладной биоинформатики ФГБОУ ВО Университет биотехнологий (Новосибирск, Россия)
Капустянчик С.Ю. – д-р с.-х. наук, директор СибНИИРС ИЦИГ СО РАН (Новосибирская область, р. п. Краснообск, Россия)
Кашеваров Н.И. – д-р с.-х. наук, проф., акад. РАН, руководитель научного направления СибНИИ кормов СФНЦ РАН (Новосибирская область, р. п. Краснообск, Россия)
Костомахин Н.М. – д-р биол. наук, проф., проф. кафедры частной зоотехнии РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)
Кочетов А.В. – д-р биол. наук, академик РАН, директор ФИЦ ИЦИГ СО РАН (Новосибирск, Россия)
Логинов С.И. – д-р биол. наук, зав. кафедрой микробиологии и гигиены животных ФГБОУ ВО Университет биотехнологий, главный редактор (Новосибирск, Россия)
Магер С.Н. – д-р биол. наук, проф., руководитель СибНИПТИЖ СФНЦ РАН (Новосибирская область, р. п. Краснообск, Россия)
Минджун Ли. – проф., директор Института биотехнологии животных Академии животноводства КНР (Синьцзян, Китай)
Ноздрин Г.А. – д-р вет. наук, проф., профессор кафедры фармакологии и общей патологии ФГБОУ ВО Университет биотехнологий (Новосибирск, Россия)
Нургазиев Р.З. – д-р вет. наук, профессор, акад. НАН КР, ректор КНАУ им. К.И. Скрябина (Бишкек, Кыргызстан)
Петров А.Ф. – д-р с.-х. наук, проф. РАН, директор Института агробиотехнологий ФГБОУ ВО Университет биотехнологий (Новосибирск, Россия)
Петухов В.Л. – д-р биол. наук, проф., проф. кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Университет биотехнологий (Новосибирск, Россия)
Поповски З. – д-р аграр. наук, профессор кафедры биохимии и генной инженерии Университета Св. Кирилла и Мефодия (Скопье, Македония)
Саттаров Д.С. – д-р биол. наук, зав. лабораторией «Дендрологии и интродукции растений» Института ботаники, физиологии и генетики растений НАН Таджикистана (Душанбе, Таджикистан)
Солошенко В.А. – д-р с.-х. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник СибНИПТИЖ СФНЦ РАН (Новосибирская область, р. п. Краснообск, Россия)
Столповский Ю.А. – д-р биол. наук, зав. лабораторией сравнительной генетики животных Института общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН (Москва, Россия)
Шарков И.Н. – д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник ИПА СО РАН (Новосибирск, Россия)
Шейко И.П. – д-р с.-х. наук, акад. НАН Республики Беларусь, первый зам. ген. директора РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» (Жодино, Беларусь)

Технический редактор *О.Н. Мищенко*

Редактор *М.А. Мжельская*

Компьютерная верстка *В.С. Колбин*

Дата выхода в свет 3 июля 2026 г. Свободная цена.

Формат 60 × 84 1/8. Объем 31,5 уч.-изд. л. Бумага офсетная.

Гарнитура «Times New Roman». Заказ № 2867.

Отпечатано в ИЦ «Золотой колос»

630039, РФ, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 106.

Тел. +7 (383) 267-09-10. E-mail: 213-45-39@mail.ru

**VESTNIK
UNIVERSITY
OF BIOTECHNOLOGY**

**Scientific journal
Vol. 21 No. 1/2026**

**S. I. Loginov
Editor-in-Chief,
Doctor of Biological Sc.**

**The founder is Federal State State-
Funded
Educational Institution
of Higher Education
Siberian State University of
Engineering
and Biotechnology**

**The journal is based
in December, 2005**

**The journal is registered in the Federal
Service for Supervision in the Sphere
of Communications, Information
Technologies and Mass Media
Certificate PI No. FS 77-91191
30.03.2026.**

**The materials are included
into the database Agris,
Ulrich's Periodicals Directory,
Russian Scis Citation Index
on a selective basis**

**E-journal is found at:
www.elibrary.ru
vestngau.elpub.ru**

Address:
630039, Novosibirsk,
160 Dobrolyubova Str., office 106
«Vestnik University
of Biotechnology»
Siberian State University of Engineering
and Biotechnology
Tel: +7 (383) 264–23–62;
Fax: +7 (383) 264–25–46
E-mail: vestnik.nsau@mail.ru

Circulation is 500 issues

Editorial Board:

Rudoy E.V. – D.Sc. (Econ.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Rector of the Siberian State University of Engineering and Biotechnology, Chairman of the Editorial Board (Novosibirsk, Russia)
Abramov N.V. – D.Sc. (Agr.), Professor, Head of the Department of Soil Science and Agrochemistry, Northern Trans-Urals State Agrarian University (Tyumen, Russia)
Belyaev A.A. – D.Sc. (Agr.), Associate Professor, Department of Plant Protection, Siberian State University of Engineering and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Budazhapov L.V. – D.Sc. (Biol.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Buryat Scientific Research Institute of Agriculture SB RAS (Ulan-Ude, Russia)
Bulashev A.K. – D.Sc. (Vet.), Professor, Professor of the Animal Husbandry and Biological Sciences group of educational programs, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University (Astana, Kazakhstan)
Vasilieva O.Yu. – D.Sc. (Biol.), Associate Professor, Head of the Laboratory of Ornamental Plants, Central Siberian Botanical Garden (Novosibirsk, Russia)
Vyshegurov S.Kh. – D.Sc. (Agr.), Professor, Head of the Department of Botany and Landscape Architecture, Siberian State University of Engineering and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Galeev R.R. – D.Sc. (Agr.), Professor, Professor of the Department of Plant Growing and Forage Production, Siberian State University of Engineering and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Gamzikov G.P. – D.Sc. (Biol.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Siberian State University of Engineering and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Glotov A.G. – D.Sc. (Vet.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Head of the Institute of Veterinary and Veterinary Sciences of the Siberian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russia)
Goncharov N.P. – D.Sc. (Biol.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)
Dobrotvorskaya N.I. – D.Sc. (Agr.), Chief Researcher Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russia)
Dubovsky I.M. – D.Sc. (Biol.), Head of the Laboratory of Biological Protection and Biotechnology, Siberian State University of Engineering and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Zhuchaeu K.V. – D.Sc. (Biol.), Professor, Vice-Rector for Research, Siberian State University of Engineering and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Kamaldinov E.V. – D.Sc. (Biol.), Associate Professor, Head of the Department of Applied Bioinformatics, Siberian State University of Engineering and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Kapustyanchik S.Yu. – D.Sc. (Agr.), Director of the Siberian Research Institute of Plant Cultivation and Breeding – Branch of Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russia)
Kashevarov N.I. – D.Sc. (Agr.), Professor, head of scientific direction of the Siberian Research Institute of Feed SFSCA RAS (Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russia)
Kostomakhin N.M. – D.Sc. (Biol.), Professor, Professor of the Department of Private Animal Science of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)
Kochetov A.V. – D.Sc. (Biol.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)
Mager S.N. – D.Sc. (Biol.), Professor, Head of the Siberian Research Institute of Animal Science of the Siberian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russia)
Mingjun Liu. – Professor, Director of the Institute of Animal Biotechnology of the Chinese Academy of Animal Science (Xinjiang, China)
Nozdrin G.A. – D.Sc. (Vet.), Prof., Professor, Department of Pharmacology and General Pathology, Siberian State University of Engineering and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Nurgaziev R.Z. – D.Sc. (Vet.), Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Rector of the Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin (Bishkek, Kyrgyzstan)
Petrov A.F. – D.Sc. (Agr.), Professor of the Russian Academy of Sciences, Director of the Institute of Agrobiotechnology, Siberian State University of Engineering and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Petukhov V.L. – D.Sc. (Biol.), Professor, Professor of the Department of Veterinary Genetics and Biotechnology, Siberian State University of Engineering and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Popovski Z. – D.Sc. (Agr.), Professor, Department of Biochemistry and Genetic Engineering, University of St. Cyril and Methodius (Skopje, Macedonia)
Sattarov D.S. – D.Sc. (Biol.), Head of the Laboratory of Dendrology and Plant Introduction at the Institute of Plant Botany, Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Tajikistan (Dushanbe, Tajikistan)
Soloshenko V.A. – D.Sc. (Agr.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Siberian Research Institute of Animal Science of the Siberian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russia)
Stolpovsky Yu.A. – D.Sc. (Biol.), Head of the Laboratory of Comparative Animal Genetics, N.I. Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)
Sharkov I.N. – D.Sc. (Biol.), Chief Researcher of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the RAS (Novosibirsk, Russia)
Sheiko I.P. – D.Sc. (Agr.), Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus, First Deputy Director General of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry" (Zhodino, Belarus)

Typing: *Mishchenko O.N.*

Editor *Mzhelskaya M.A.*,

Desktop publishing: *Kolbin V.S.*

Date of publication 3 July 2026. Free price.

Size is 60 × 84 1/8. Volume contains 31,5 publ. sheets. Offset paper is used.

Typeface "Times New Roman" is used. Order no. 2867.

Printed in "Zolotoy Kolos"

160 Dobrolyubova Str., office 106, 630039 Novosibirsk. Tel.: +7 (383) 267-09-10

E-mail: 2134539@mail.ru

АГРОНОМИЯ

- Казакова О.А., Никифорова А.А., Фотев Ю.В.**
Гнили вигны в условиях юга Западной Сибири
- Лях П.А., Лях А.А.**
Влияние высоты снежного покрова на урожайность и зимостойкость озимого чеснока (*Allium sativum* L.) в условиях Приобской лесостепи
- Матвеева Н.И.**
Анализ влияния подвоев на рост и развитие сортов груши в молодом саду
- Петрук В.А., Вотяков А.О.**
Продуктивность разных покровных культур и многолетних травосмесей при разных сроках сева в лесостепной зоне Западной Сибири
- Пухальский Я.В., Лоскутов С.И., Святковская Е.А., Рыбалко Е.П., Якубовская А.И., Турковская В.Р., Каменева И.А.**
Влияние зоокомпоста на рост и развитие бархатцев отклоненных
- Сакович Д.А., Вышегуров С.Х.**
Сезонная динамика роста и развития декоративных кустарников в условиях субаридных средиземноморских субтропиков на примере Южного берега Крыма
- Худякова А.В.**
Молекулярный скрининг генов FaFAD1 и FanAAMT ароматического комплекса плодов земляники садовой

ВЕТЕРИНАРИЯ, ЗООТЕХНИЯ
И БИОТЕХНОЛОГИЯ

- Глущенко Е.Е., Глущенко В.В., Дробот Е.В., Зайко О.А.**
Новообразования век у лошадей: современные представления об этиопатогенезе, диагностике и комплексном лечении
- Горб Н.Н., Юшков Ю.Г., Смертина Е.Ю., Павлов А.В., Мерк А.А.**
Новый прибор для вибрационного массажа сельскохозяйственных животных
- Дуров А.С.**
Использование кластерного анализа для оценки селекционных групп бычков казахской белоголовой породы
- Кошель Г.В., Шкиль Н.Н.**
Опыт формирования специфического иммунитета у животных с применением иммуностимуляторов
- Политова М.А., Акимова А.В., Верденберг Е.В.**
Обновленные подходы к комплексной оценке племенной ценности арабских чистокровных лошадей по скаковой работоспособности и качеству потомства
- Распутина О.В., Сысоева Е.А., Трапезов О.В., Земляничная Е.И., Наумкин И.В.**
Влияние препарата «Биостил», применяемого с целью стимуляции воспроизводительной функции американских норок разного типа поведения, на морфологическое состояние печени и почек их потомства

AGRONOMY

- Kazakova O.A., Nikiforova A.A., Fotev Y.V.** 5
Asparagus Vigna rot in the south of Western Siberia
- Lyakh P.A., Lyakh A.A.** 17
Influence of snow cover height on the yield and winter hardiness of winter garlic (*Allium sativum* L.) in the Priobskaya Forest-Steppe
- Matveeva N.I.** 26
Analysis of the influence of rootstocks on the growth and development of pear varieties in a young garden
- Petruk V.A., Votyakov A.O.** 37
Productivity of cover crops and perennial grass mixtures at different sowing times in the forest-steppe zone of Western Siberia
- Puhal'skij YA.V., Loskutov S.I., Svyatkovskaya E.A., Rybalko E.P., Yakubovskaya A.I., Turkovskaya V.R., Kameneva I.A.** 47
Influence of zoocompost on the growth and development of marigolds
- Sakovich D.A., Vyshegurov S.Kh.** 63
Seasonal dynamics of growth and development of ornamental shrubs in subarid mediterranean subtropics on the example of the southern coast of Crimea
- Khudyakova A.V.** 78
Molecular screening of the fafad1 and fanaamt genes of the strawberry fruit aromatic complex

VETERINARY, ANIMAL SCIENCES
AND BIOTECHNOLOGY

- Glushchenko E.E., Glushchenko V.V., Drobot E.V., Zaiko O.A.** 87
Equine eyelid neoplasms: current understanding of etiopathogenesis, diagnosis and complex treatment
- Gorb N.N., Yushkov Y.G., Smertina E.Yu., Pavlov A.V., Merk A.V.** 98
New device for vibration massage of farm animals
- Durov A.S.** 105
Using cluster analysis to evaluate breeding groups of Kazakh white-head bulls
- Kosehl G.V., Shkil N.N.** 117
Experience in forming specific immunity in animals using immunostimulators
- Politova M.A., Akimova A.V., Werdenberg E.V.** 129
Updated approaches to assessing breeding value in purebred arabian horses: evaluation of individual racing performance and sire progeny quality
- Rasputina O.V., Sysoeva E.A., Trapezov O.V., Zemlynitskaya E.I., Naumkin I.V.** 140
Influence of Biosteel used to stimulate the reproductive function of american minks of different types of behavior, on the morphological state of the liver and kidneys of their offspring

Ротова А.Ю., Багно О.А., Шевченко С.А., Шевченко А.И. Состав крови цыплят-бройлеров при скормливании антистрессовых кормовых добавок в условиях промышлен- ного содержания	Rotova A.YU., Bagno O.A., Shevchenko S.A., Shevchenko A.I. Hematological and biochemical blood parameters of broiler chickens when feeding anti-stress feed additives in industrial conditions	150
Салов С.Р., Микряков Д.В., Скворцова Е.Г., Мостофина А.В., Жандалгарова А.Д. Кишечный микробиом и гены иммунитета русско-ленского осетра при применении пробиотиков	Salov S.R., Mikryakov D.V., Skvortsova E.G., Mostofina A.V., Zhandalgarova A.D. Intestinal microbiome and immune genes of rulo sturgeon hybrid using probiotics	160
Силукова Ю.Л., Станишевская О.И. Инновационные репродуктивные технологии в области сохранения in vitro и использования гамет самок сельскохо- зяйственных птиц (обзор)	Silyukova Yu.L., Stanishevskaya O.I. Innovative reproductive technologies for in vitro preservation and utilization of female gametes from domestic birds (review)	172
Стефутин А.Н., Сивкин Н.В. Генеалогия и воспроизводство популяции зубров (Bison bonasus L.) в Центральном зубровом питомнике Приокско-Тerrasного заповедника	Stefutin A.N., Sivkin N.V. Genealogical analysis of the population of European Bison (Bison bonasus L.) in the central bison nursery of the Prioksko-Terrasny biosphere reserve	184
Шатохин К.С., Никитин С.В., Кочнев Н.Н. Особенности кластерного анализа на основе частот эритроцитарных антигенов групп крови свиней	Shatokhin K.S., Nikitin S.V., Kochnev N.N. Features of cluster analysis based on the frequencies of erythrocyte antigens of pig blood groups	193

АГРОНОМИЯ

УДК 635.654.3 632.4.01/08

DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-5-16

ГНИЛИ ВИГНЫ В УСЛОВИЯХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

¹О.А. Казакова, ²А.А. Никифорова, ^{1,3}Ю.В. Фотев¹Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, Новосибирск, Россия²ООО «Новабיוтик», Новосибирск, Россия³Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

E-mail: kazakova.o@list.ru

Для цитирования: Казакова О.А., Никифорова А.А., Фотев Ю.В. Гнили вигны в условиях юга Западной Сибири // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 5–16. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-5-16.

Реферат. Цель работы состояла в изучении распространенности, развития и видового состава возбудителей гнилей вигны (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) в условиях юга Западной Сибири. Исследования проводились в условиях весенне-летней пленочной теплицы Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (ЦСБС СО РАН) в 2018–2025 гг. Материалом исследований служил сорт вигны Сибирский размер. Для анализа семян вигны дополнительно использовали сорта и сортообразцы из коллекции ЦСБС СО РАН. Проведенные исследования показали, что образцы *V. unguiculata* в значительной степени подвержены поражению гнилями. На этой культуре в период вегетации в условиях Западной Сибири встречались корневые гнили, гнили основания растений, гнили плодов. Корневая гниль на вигне начинала проявляться с фазы всходов. Первичным было поражение главного корня, затем болезнь переходила на боковые корни и далее на основание растения. Развитие болезни уже в фазу 2–3 листьев на центральном корне достигало 50 %. На основании растений вигны гниль появлялась несколько позже, чем на подземных органах. Чаще всего появление гнили на основании было приурочено к фазе цветения. Распространенность достигала 100 %. Вызывали гнили следующие виды фитопатогенных грибов: *Fusarium sporotrichioides*, *Fusarium oxysporum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*. На подземных органах и основании растения доминировали возбудители фузариозной и белой гнили, на плодах – возбудители белой и серой гнилей. При поражении вигны возбудителями гнилей на растениях могут проявляться и другие симптомы болезней, такие как увядания, хлорозы, некрозы. Выявлено, что возбудители гнилей ежегодно сохраняются на (в) семенах вигны, что способствует сохранению фитопатогенов из года в год.

Ключевые слова: спаржевая вигна, гниль, распространенность, развитие, фузариозная корневая гниль, серая гниль, белая гниль, юг Западной Сибири.

ASPARAGUS VIGNA ROT IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

¹O.A. Kazakova, ²A.A. Nikiforova, ^{1,3}Y.V. Fotev¹Siberian State University of Engineering and Biotechnology, Novosibirsk, Russia²Novabiotic LLC, Novosibirsk, Russia³Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

E-mail: kazakova.o@list.ru

Abstract. The aim of the work was to study the prevalence, development, and species composition of asparagus vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) rot pathogens in the south of Western Siberia. The research was conducted in the spring-summer film greenhouse of the Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (CSBG) in 2018–2025. The research material was the vigna cultivar Sibirskiy razmer. Varieties and accessions from the collection of the CSBG were additionally used to analyze the seeds of cowpeas. The conducted research showed that *V. unguiculata* accessions are highly susceptible to rot. During the growing season in Western Siberia, root rot, base rot, and fruit rot were observed on this crop. Root rot on cowpeas began to manifest itself from the seedling stage. Initially, the main root was affected, and then the disease spread to the lateral roots and eventually to the base of the plant. The disease developed in the 2–3 leaf phase on the central

root, reaching 50%. The rot appeared on the base of the cowpea plants somewhat later than on the underground organs. Most often, the rot appeared on the base during the flowering phase. The prevalence reached 100%. The rot was caused by the following phytopathogenic fungi: *Fusarium sporotrichioides*, *Fusarium oxysporum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, and *Botrytis cinerea*. *Fusarium* and white rot pathogens dominated on the underground organs and the base of the plant, and white and gray rot pathogens dominated on the fruits. When vigna accessions are affected by rot pathogens, other symptoms of diseases such as wilting, chlorosis, and necrosis may also appear on the plants. It has been found that rot pathogens are retained on (in) *V. unguiculata* seeds every year, which contributes to the persistence of phytopathogens from one year to the next.

Keywords: asparagus vigna, rot, prevalence, development, fusarium root rot, gray rot, white rot, Western Siberia.

Вигна или спаржевая вигна (англ. *Asparagus bean*), *Vigna unguiculata* (L.) Walp. = *Vigna sinensis* (L.) Saviex Hassk. (Fabaceae) – овощная культура, широко выращиваемая в настоящее время в странах Азии, Африки, Южной и Северной Америки. В Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН (ЦСБС СО РАН) в 2006 г. были селектированы и включены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, первые в России два сорта вигны: Сибирский размер и Юньнаньская [1–2]. В настоящее время в Госреестре селекционных достижений РФ, допущенных к использованию, находится уже 30 ее сортов, что подразумевает рост интереса к культуре и увеличение масштабов производства. Освоение новых регионов выращивания естественным образом ставит задачи изучения пораженности вигны болезнями.

V. unguiculata является растением-хозяином широкого круга возбудителей болезней, таких как грибы, бактерии, вирусы и нематоды. Комплекс экологических условий и генотипическая составляющая (формы, сорта) определяют спектр патогенных организмов, характер и скорость развития инфекционного процесса. В 1936 г. были опубликованы предварительные сведения о поражении *Vigna unguiculata* в Сьерра-Леоне (Западная Африка) видами микромицетов – *Cercospora canescens* Ell. & Mart. (на листьях и плодах), *Corticium solani* (Prill. & Delacr.) Bourdot & Galzin (на листьях и стеблях), *Macrophomina phaseoli* (Maubl.) S.F. Ashby (на стеблях) и *Sclerotium* sp. из “*S. rolfsii* group” (на стеблях) [3]. Полученные к 1970 г. обобщающие по разным регионам данные показали, что основными возбудителями болезней в Африке, США и Австралии являются ржавчина (возб. *Uromyces phaseoli* (Pers.) G. Winter), бактериальный рак (возб. *Xanthomonas vignicola* Burk.), фузариозное увядание (возб. *Fusarium oxysporum* Schlecht. emend. Snyder & Hansen), мучнистая роса (возб. *Erysiphe polygoni* DC.), стеблевая гниль (возб. *Phytophthora vignae* Purss) и пятнистости листьев и плодов, вызванные *Ascochyta phaseolorum* Sacc. [4].

В недавнем консенсусном документе по биологии вигны (*Vigna unguiculata*) [5], подготовленном в результате международного сотрудничества, приведен обновленный список наиболее вредоносных грибных и бактериальных болезней и их возбудителей: септориозная листовая пятнистость (*Septoria leaf spots*, возб. *Septoria vignae*, *S. vignicola*), парша (возб. *Elsinoe phaseoli*), коричневая пятнистость (возб. *Colletotrichum capsici* и *C. truncatum*), церкоспориозная листовая пятнистость (возб. *Cercospora canescens*), фузариозное увядание (возб. *Fusarium* spp.), ржавчина (возб. *Uromyces appendiculatus*, *Phakopsora pachyrhizi*), антракноз (возб. *Colletotrichum destructivum*), мучнистая роса (возб. *Erysiphe polygoni*), угольная (пепельная) гниль стебля (возб. *Macrophomina phaseolina*), аскохитозная гниль (возб. *Ascochyta phaseolorum*), питиозная стеблевая гниль (возб. *Pythium aphanidermatum*), склеротиниозная гниль стебля (возб. *Sclerotium rolfsii*), бактериальная гниль (возб. *Xanthomonas campestris*), бактериальная бородавчатость (возб. *Xanthomonas axonopodis*).

Значимыми возбудителями болезней вигны являются возбудители гнилей [6, 7]. Они приводят к значительным потерям товарной продукции (до 100 %), гибели растений на ранних фазах развития, угнетению и торможению роста [8–10]. По типу проявления болезней растений гниль характеризуется размягчением и разрушением тканей растения-хозяина, пораженного различными организмами. Гнили бывают мягкие и твердые. Мягкие гнили возникают в случае, когда выделения паразитов разрушают пектин, склеивающий клеточные стенки, в результате чего клетки растения-хозяина распадаются. Твердые гнили возникают в тех случаях, когда клетки отмирают без существенного разложения пектина и размягчения пораженной ткани.

Гнилями могут поражаться различные органы растений: корневая система (корневые гнили), основание растения (прикорневые гнили), стебли, листья, плоды, цветки, семена. Проявляются гнили на растениях на протяжении всего периода вегетации (в фазе всходов в виде поражения

зародышевых корней и проростков семян (загнивание), на молодых и взрослых растениях). Часто возбудители гнилей являются факультативными паразитами или факультативными сапротрофами [11]. Возбудители гнилей могут развиваться на отмерших растительных остатках и сохраняться длительное время в почве (например, возбудители фузариозной корневой гнили могут сохранять свою жизнеспособность до пятнадцати лет). Немаловажное значение имеет загрязнение продукции микотоксинами возбудителей, которые могут быть опасны для жизни и здоровья человека [12, 13]. Гнили могут быть вызваны одним видом или комплексом паразитных грибов. Так, в Ираке на вигне *Fusarium solani* был наиболее распространенным патогенным грибом с частотой встречаемости 55,9 %, за ним следовал гриб *Macrophomina phaseolina* с частотой встречаемости 45,55 % [14]. В Южной Африке во всех образцах семян наблюдалась высокая частота встречаемости грибов (до 70 %), среди которых наиболее распространены грибы рода *Fusarium* [15]. В Республике Гана из двухсот исследованных образцов вигны было идентифицировано семь видов грибов, относящихся к пяти родам [16]. Среди них пять сапрофитных грибов: *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus tamari*, *Penicillium sp.* и *Rhizopus stolonifer*, а также два патогенных гриба: *Fusarium verticillioides* и *Colletotrichum sp.* Виды рода *Fusarium* относятся к числу наиболее распространенных патогенов, вызывающих корневую гниль у вигны [17, 18].

Цель работы состояла в изучении распространенности, развития и видового состава возбудителей гнилей вигны в условиях юга Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в условиях весенне-летней пленочной теплицы Центрального сибирского ботанического сада СО РАН в 2018–2025 гг. Лабораторные эксперименты проводили в лабораториях интродукции пищевых растений Центрального сибирского ботанического сада СО РАН и фитосанитарной диагностики и прогноза Новосибирского государственного аграрного университета.

Материалом исследований служил сорт вигны Сибирский размер. Для анализа семян вигны дополнительно использовали сорта и сортообразцы из научной коллекции ЦСБС СО РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», УНУ № USU 440534, коллекционные образцы, полученные из ФИЦ Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), формы и сорта из КНР, сорта и сортообразцы, включенные и перспективные для включения в Государственный реестр селекционных достижений РФ.

Площадь сезонной необогреваемой пленочной теплицы составляла 900×10 м², высота в коньке – 4,8 м. Субстрат в теплице смешанный (торф, опилки, дерновая земля), в качестве дренажа использовался речной песок (с глубины 50 см). Удобрение почвы разовое весеннее перед культивацией, комплексным удобрением, нитроаммофоска 16-16-16 – 100 кг и 50 кг мочевины. Мульчирование почвы черной пленкой (200 микрон).

Рассаду вигны высевали вручную 25–30 апреля, в пластмассовые кассеты на глубину 4 см. До фазы 3–5 настоящих листьев (три недели) рассада выращивалась в зимней теплице ЦСБС СО РАН, 20–22 мая производилась ручная высадка рассады в закрытый грунт. Высадку рассады производили по однострочной схеме (междурядья 60–65 см, расстояние в рядках 20–25 см). Плотность посева – 16 растений на делянке, густота посева составляла 16 растений на 5,3 м². В период выращивания растения подвязывали к шпалере, полив производился из шланга 30 л воды на 1 м² один-два раза в неделю (вода водопроводная). Формирование растения включало в себя закручивание боковых побегов вокруг главного стебля и пощипывание главного стебля после перебрасывание его через шпалеру (1,90 см) на расстоянии 10–20 см от шпалеры. Температура в теплице 28 °С, влажность – 80 %.

Для оценки развития корневой гнили дифференцированно по органам пользовались шкалой В.А. Чулкиной [19]:

- 0 – орган имеет равномерную светлую окраску, здоров;
- 0,1 – отмечаются небольшие единичные точки бурого цвета, занимающие не более 10 % поверхности;
- 1 – потемневшая зона обхватывает до 25 % поверхности;
- 2 – поражено 50 % поверхности органа;

- 3 – поражено до 75 % поверхности органа;
 4 – орган полностью поражен или погиб.

Микологический анализ корневой системы и основания растений проводили на питательной среде Чапека в 4-6-кратной повторности. Для этого участки растений промывали, высушивали и нарезали на равные отрезки длиной 1 см. Отрезки стерилизовали в течение 10 мин в 0,5 % растворе перманганата калия, тщательно промывали в проточной воде и раскладывали на питательную среду по 10 шт. в чашку Петри [19]. После инкубации в течение семи дней при температуре 22–24°C проводили учет видового состава возбудителей корневых гнилей с использованием микроскопа «Микмед-6» компании «Ломо». Определение грибов рода *Fusarium* до вида проводили при помощи классических определителей. Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета программ SNEDECOR.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты исследования распространенности и развития корневой гнили на вигне сорта Сибирский размер в период вегетации в условиях защищенного грунта юга Западной Сибири представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Распространенность и развитие гнили на подземных органах вигны
в период вегетации в условиях защищенного грунта, %**

Prevalence and development of rot on underground organs of cowpea during the growing season in protected soil conditions, %

Фаза развития вигны	Распространенность корневой гнили		Развитие корневой гнили	
	Главный корень	Боковые корни	Главный корень	Боковые корни
Всходы – 2–3 листа	100,0	60,0	50,0	21,0
Цветение–плодоношение	100,0	100,0	75,0	60,0
Полная спелость	100,0	100,0	100,0	75,0
НСР ₀₅		24,1	36,4	39,7

Исследования показали, что вигна в значительной мере подвержена заражению корневыми гнилями. Корневая гниль на вигне начинала проявляться с фазы всходов. Первичным было поражение главного корня, затем болезнь переходила на боковые корни и далее на основание растения. Развитие болезни уже в фазу 2–3 листьев на центральном корне достигало 50 %. Проявление гнили на вигне в условиях защищенного грунта было сильным. Важное значение для разработки методов защиты вигны от корневой гнили имеет понимание этиологии или причины заболевания.

Исследования показали, что корневые гнили были вызваны грибами и бактериями (табл. 2).

Таблица 2

**Зараженность подземных органов вигны патогенными микромицетами по фазам вегетации, %
Infection of underground organs of cowpea with pathogenic micromycetes by vegetation phases, %**

Микромицет	Всходы – 2–3 листа		Цветение–плодоношение		Полная спелость	
	Главный корень	Боковые корни	Главный корень	Боковые корни	Главный корень	Боковые корни
1	2	3	4	5	6	7
<i>Fusarium</i> spp.	5,0	20,0	21,6	55,0	95,0	75,0
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	0	0	35,0	30,0	0	0
<i>Botrytis cinerea</i>	0	0	1,6	0	0	25,0
<i>Cladosporium</i> spp.	5,0	0	0	0	0	0
<i>Penicillium</i> spp.	0	5,0	6,6	2,5	2,5	0

1	2	3	4	5	6	7
<i>Aspergillus niger</i>	0	5,0	5,0	4,2	2,5	0
Бактерии	90,0	70,0	17,0	8,3	0	0
НСР ₀₅	41,2	21,4	11,3	6,8	52,4	35,9

Результаты микологического анализа показали, что подземные органы вигны были контаминированы шестью родами патогенных и условно-патогенных микромицетов: *Fusarium spp.*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*, *Penicillium spp.*, *Cladosporium spp.*, *Aspergillus niger*, а также бактериями. К возбудителям гнилей относились микромицеты из родов р. *Fusarium*, р. *Sclerotinia*, р. *Botrytis*.

Грибы рода *Fusarium* занимали доминирующее положение в патогенном комплексе на всех фазах развития растений. Виды этого рода вызывают фузариозную корневую гниль вигны. Возбудители фузариоза – почвенные грибы, сохраняющиеся в почве, семенном материале и растительных остатках в форме мицелия, склероциев, хламидоспор. Инфекционный процесс протекает при температуре +13...+26 °С и относительной влажности воздуха от 40 до 80 %. В результате исследований было установлено, что вигна поражалась двумя видами грибов рода *Fusarium*: *F. sporotrichioides* и *F. oxysporum*. На вигне в течение вегетации происходило постепенное увеличение зараженности подземных органов этими микромицетами. Отмечено, что в фазы всходов – 2–3 листа и цветения-плодоношения грибами р. *Fusarium* поражались в большей степени боковые корни, тогда как в фазу полной спелости сильнее поражен главный корень.

В фазу цветения на подземных органах вигны был выявлен гриб *Sclerotinia sclerotiorum*, который является возбудителем белой гнили. Он выявлялся на всех исследуемых органах. Примерно в равной степени поражались этим патогеном центральный и боковые корни. В фазу полной спелости его не выявляли, так как растения, пораженные белой гнилью, часто уже погибали ближе к концу вегетации.

Единично на подземных органах выявлялся гриб *Botrytis cinerea* (возбудитель серой гнили вигны). В фазу полной спелости этот микромицет развивался локально на боковых корнях.

Таким образом, поражение гнилями подземных органов было вызвано следующими патогенными микромицетами: *F. sporotrichioides*, *F. oxysporum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, в меньшей степени *Botrytis cinerea*. Вторично на пораженных подземных органах развивались плесневые грибы *Penicillium spp.* и *Aspergillus niger*. Также единично на подземных органах в фазу всходов выявлялся р. *Cladosporium*. Вероятно, этот микромицет сохранялся на семенах и начинал развиваться при их прорастании, но затем его вытесняли более агрессивные виды.

При маршрутных обследованиях в защищенном грунте были обнаружены гнили на основании растений. Результаты анализа распространенности, развития и этиологии гнилей на основании растений вигны представлены в табл. 3.

Таблица 3

Распространенность, развитие и этиология гнилей на основании растений вигны
Prevalence, development and etiology of rots on the base of cowpea plants

Показатель	Всходы – 2–3 листа	Цветение–плодоношение	Полная спелость
1	2	3	4
Распространенность гнили, %	0	100,0	100,0
Развитие гнили, %	0,5	90,0	100,0
<i>Зараженность основания растений микромицетами, %</i>			
<i>Fusarium spp.</i>	20,0	68,3	95,0
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	0	13,3	0
<i>Cladosporium spp.</i>	10,0	0	0
<i>Penicillium spp.</i>	30,0	1,6	0
<i>Aspergillus niger</i>	0	13,3	5,0

1	2	3	4
Mucor mucedo	20,0	0	0
Бактерии	20,0	3,5	0
НСР05 (по зараженности)	11,3	6,5	29,7

На основании растений вигны гниль появлялась несколько позже, чем на подземных органах. Чаще всего появление гнили на основании было приурочено к фазе цветения. Основными возбудителями гнилей были *Fusarium* spp. и *Sclerotinia sclerotiorum*. Также в небольшом количестве встречались плесневые микромицеты и бактерии. Плесневых микромицетов на основании растения выявлялось больше, чем на подземных органах. Это можно объяснить тем, что плесневые грибы являются наземно-воздушными видами и в почвенной среде распространены в меньшей степени.

Для растений, пораженных гнилями, характерно наличие сопутствующих симптомов. К ним можно отнести увядание и хлороз. Далее было проведено определение этиологии гнилей на растениях с сопутствующими симптомами хлороза и увядания. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Зараженность визуально больных растений вигны микромицетами (фаза цветения-плодоношения), %
Infection of visually diseased cowpea plants with micromycetes (flowering–fruiting phase), %

Микромицет	Тип болезни – увядание			Тип болезни – хлороз		
	Основание растения	Главный корень	Боковые корни	Основание растения	Главный корень	Боковые корни
<i>Fusarium</i> spp.	65,0	50,0	40,0	50,0	15,0	55,0
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	25,0	25,0	60,0	15,0	80,0	25,0
<i>Botrytis cinerea</i>	0	5,0	0	0	0	0
Прочие виды	10,0	20,0	0	25,0	5,0	20,0
НСР05	16,1	18,2	24,3	19,5	32,1	28,2

Результаты исследований показали, что для возбудителей гнилей вигны характерны симптомы увядания и хлороза. На растениях с симптомом увядания примерно в равной степени паразитировали грибы рода *Fusarium* и *Sclerotinia sclerotiorum*. На растениях с симптомом хлороза гриб *Sclerotinia sclerotiorum* занимал доминирующее положение на боковых корнях. Однако главный корень при увядании растений поражался в большей степени фузариозной инфекцией.

В фазу плодоношения на растениях вигны проявляется гниль плодов. Распространенность, развитие и этиология гнили плодов представлены в табл. 5.

Таблица 5

Распространенность, развитие и этиология гнили плодов вигны (фаза плодоношения)
Prevalence, development and etiology of cowpea fruit rot (fruiting phase)

Показатель	Плоды
1	2
Распространенность гнилей, %	65,0
Развитие серой гнили min÷max, %	0÷80,0
Развитие белой гнили min÷max, %	0÷100,0
<i>Зараженность плодов вигны с симптомом некроз микромицетами, %</i>	
<i>Fusarium</i> spp.	15,0
<i>Botrytis cinerea</i>	10,0

1	2
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	0
<i>Alternaria</i> spp.	65,0
<i>Penicillium</i> spp.	7,0
<i>Aspergillus niger</i>	3,0
HCP ₀₅ (по зараженности)	17,2

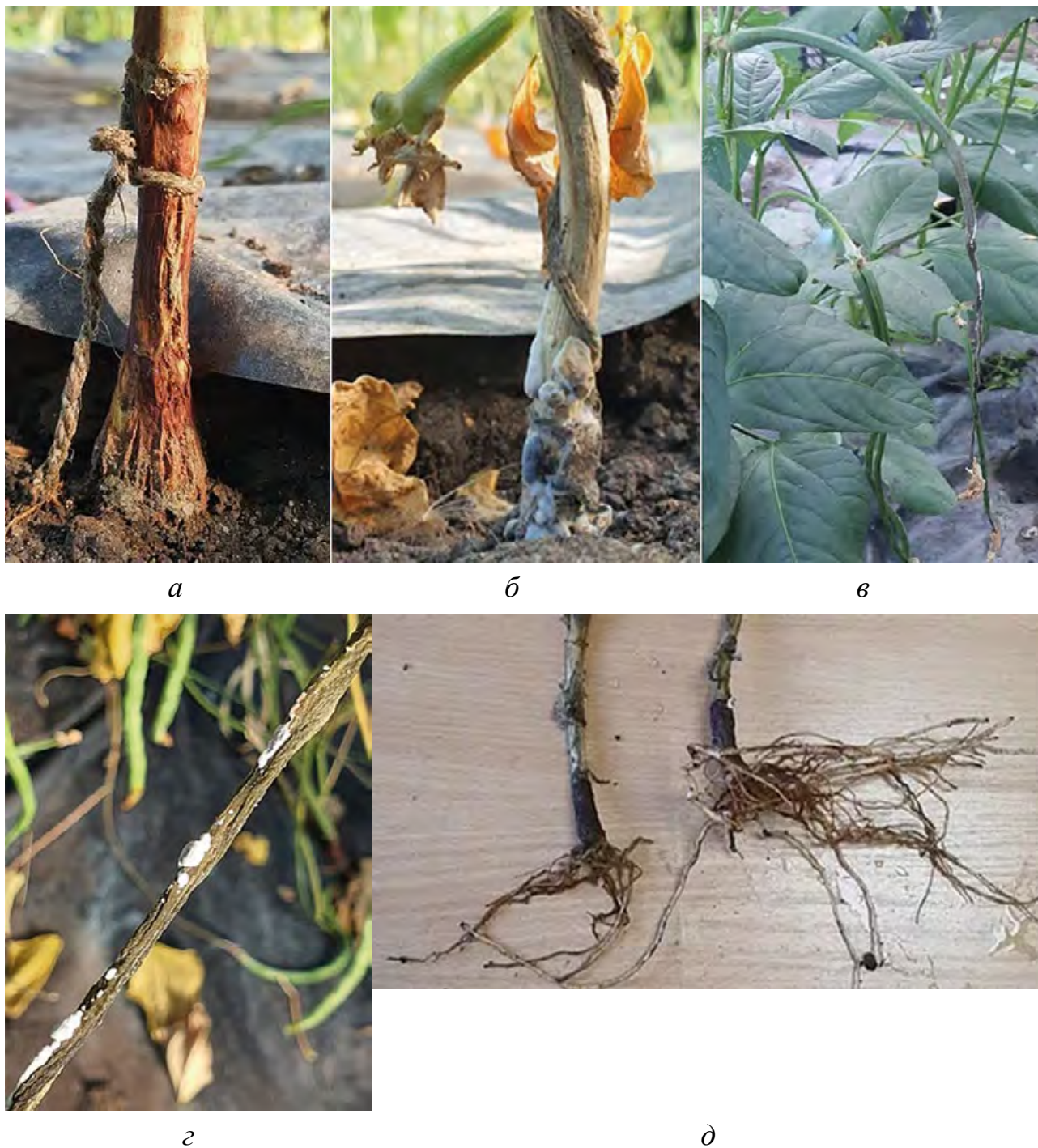
Результаты исследований показали, что плоды вигны были сильно подвержены поражению гнилями, распространенность болезни составляла 65 %. Гниль плодов вигны вызывали микромицеты *Sclerotinia sclerotiorum* и *Botrytis cinerea*. Развитие белой гнили на плодах нередко доходило до 100 %. Также на плодах вигны часто обнаруживается симптом некроз (отмирание участков плода). Этот симптом часто связан с поражением вигны альтернариозной инфекцией, однако грибы рода *Fusarium* и *Botrytis cinerea* также входят в состав патогенного комплекса некрозов [20]. Известно, что выявленные возбудители гнилей вигны могут передаваться через семена. Далее было проведено исследование степени зараженности семян вигны указанными микромицетами. Результаты представлены в табл. 6.

Таблица 6

Зараженность семян вигны возбудителями гнилей по годам, %
Infection of cowpea seeds by rot pathogens by year, %

Год исследования	<i>Fusarium</i> spp.		<i>Botrytis cinerea</i>		<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	
	min÷max	среднее	min÷max	среднее	min÷max	среднее
2018 (три образца)	0÷80,0	26,7	0÷50,0	16,7	0÷40,0	13,3
2021 (шестнадцать образцов)	0÷20,0	7,5±1,7	0÷90,0	38,8±14,9	0÷50,0	12,5±7,8
2022 (семь образцов)	0÷100,0	40,7±29,9	0÷40,0	6,7±10,3	0÷100	10,0±23
2023 (шесть образцов)	10,0÷30,0	40,0±15,4	0	0	0÷20,0	6,1

Результаты исследований показали, что выявленные на вигне возбудители гнилей в период вегетации проникали в семена и могли сохраняться в них. Грибы рода *Fusarium* ежегодно поражали семена вигны на уровне 7,5–40,7 %. Максимальная зараженность семян этими патогенами в отдельные годы доходила до 80–100 % (при ПВ для зернобобовых (горох, соя) – 5 % [19]). *Botrytis cinerea* встречался на семенах вигны не ежегодно. Средняя зараженность за годы исследований находилась в пределах 6,7–38,8 %, а максимальная доходила до 90 %. Гриб *Sclerotinia sclerotiorum* встречался на семенах ежегодно. Средняя зараженность этим патогеном по годам была стабильная и невысокая (на уровне 6,1–13,3 %). При исследовании локализации мицелия патогенов в семенах вигны выявлено, что исследуемые микромицеты чаще локализовались в семядолях и оболочке (под оболочкой). В зародыше вигны в результате наших исследований фитопатогены не выделялись, они были свободны от возбудителей болезней. По нашим данным, гриб *Botrytis cinerea* чаще локализовался на (под) оболочками семени, реже в семядолях. Исследования длительности выживания на семенах выявленных на вигне патогенов показали, что свежесобранные семена (со сроком хранения 6 мес.) имели максимальную зараженность фитопатогенами. При хранении семян происходило их самоочищение от инфекции. Выявлено, что грибы рода *Fusarium* могут сохранять жизнеспособность на семенах вигны 5–8 лет [13]. Гриб *Botrytis cinerea* Pers. сохранялся на семенах два года [20]. Гриб *Sclerotinia sclerotiorum* в форме мицелия в семенах сохранялся только до следующего сезона (один год). Склеротии в партии семян, по литературным данным, могут сохранять свою жизнеспособность 5–8 лет [21–23].



Проявление гнилей на вигне в период вегетации:

a – пораженность основания растений *Fusarium* spp.; *б* – пораженность основания растений *Sclerotinia sclerotiorum*; *в* – пораженность плодов *Botritis cinerea*; *г* – пораженность плодов *Sclerotinia sclerotiorum*; *д* – корневая гниль вигны

Rot manifestations on cowpea during the growing season:

a – *Fusarium* spp. infestation at the base of plants; *b* – *Sclerotinia sclerotiorum* infestation at the base of plants; *c* – *Botritis cinerea* infestation at the fruit; *d* – *Sclerotinia sclerotiorum* infestation at the fruit; *d* – cowpea root rot

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, в условиях юга Западной Сибири на вигне встречались белая, серая и фузариозная гнили. Возбудители этих заболеваний являются широкоспециализированными и достаточно распространенными видами на указанной территории [10]. Внешний вид гнилей в период вегетации

представлен на рисунке. На подземных органах образуются черные точки, штрихи, пятна (начальное проявление гнили), происходит мацерация ткани и гибель части корней (при затяжном, длительном течении болезни). На основании растения происходит потемнение, побурение, мацерация ткани, может сопровождаться появлением мицелия возбудителя белого или розового цвета, а также специальных образований – склероциев. На плодах гниль проявляется в виде размягчения, разложения ткани, на поверхности образуется серый или белый мицелий возбудителя, а также склероции. Сохраняться возбудители гнилей вигны могут в почве, на инфицированных растительных остатках, в семенах в форме мицелия, хламидоспор, склероциев, конидий. В различных регионах мира на вигне встречается большее разнообразие гнилей и их возбудителей, чем на юге Западной Сибири (табл. 7). С 1936 по 2025 гг. ученые выявляли до десяти заболеваний грибной и бактериальной этиологии, которые вызывали гнили в разных регионах мира. Следует отметить, что белая гниль на вигне отмечалась только в условиях Сибири, серая гниль – в условиях Сибири и Казахстана, а фузариозная гниль выявлялась на вигне во всех регионах мира. Чаще в мире выявляются гнили грибной этиологии, реже бактериальной. Меньшее видовое разнообразие возбудителей гнилей в условиях юга Западной Сибири может быть связано с тем, что эта территория является северной границей ареала возделывания вигны. Многие возбудители приспособлены к южным регионам, более теплomu и влажному климату. Вигна в России возделывается пока локально и только приобретает популярность у населения.

Таблица 7

Хронология исследований и встречаемость гнилей вигны в открытом и защищенном грунте в различных регионах мира
Chronology of research and occurrence of cowpea rots in open and protected ground in different regions of the world

Болезнь	Возбудитель	Поражаемый орган	Годы исследований, регионы						
			1936 г., Сьерра-Леоне (Западная Африка)	1937–1959 гг., Россия	1970 г., Африка, США, Австралия	2012 г., Казахстан	2015 г., различные регионы мира	2017 г., Индия	2019–2025 гг., Россия (Западная Сибирь)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Угольная (пепельная) гниль стебля	<i>Macrophomina phaseoli</i>	Стебель	+				+	+	
Склеротиниозная гниль стебля	<i>Sclerotium rolfsii</i>	Стебель	+				+		
Фузариозное увядание и гниль	<i>Fusarium</i> spp.	Подземные органы		+			+		+
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Подземные органы			+			+	+
	<i>Fusarium sporotrichioides</i>	Подземные органы, плоды, семена							+
Стеблевая гниль	<i>Phytophthora vignae</i>	Стебель			+				
Аскохитозная гниль	<i>Ascochyta phaseolorum</i>	Стебель, плоды			+		+		
Питиозная стеблевая гниль	<i>Pythium aphanidermatum</i>	Стебель					+		
Серая гниль	<i>Botrytis cinerea</i>	Плоды, семена				+			+

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Белая гниль	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Плоды, стебли, подземные органы, семена							+
Бактериальная гниль	<i>Xanthomonas campestris</i>	Стебель, плоды					+		
Бактериальное увядание и гниль	<i>Bacterium solanacearum</i> , <i>Bacterium phaseoli</i> , <i>Bacterium vignae</i>	Стебель		+					

Примечание. Знак «плюс» означает, что патогены выявлены в указанные годы в данных регионах.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования показали, что вигна в значительной степени подвержена поражению гнилями. На этой культуре в период вегетации в условиях юга Западной Сибири встречались корневые гнили, гнили основания растений, гнили плодов. Данный тип болезни проявлялся на всех фазах развития растений, начиная с фазы всходов. Вызывали гнили следующие виды фитопатогенных грибов: *Fusarium sporotrichioides*, *Fusarium oxysporum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*.

2. На подземных органах и основании растения доминировали возбудители фузариозной и белой гнили, на плодах – возбудители белой и серой гнилей.

3. При поражении вигны возбудителями гнилей на растениях могут проявляться и другие симптомы болезней, такие как увядания, хлорозы, некрозы. При наличии на растении гнилей подземных органов, а также увядания и хлорозов надземных возбудителями являлись грибы рода *Fusarium* и *Sclerotinia sclerotiorum*. Возбудители гнилей также могут вызывать некрозы на плодах (*Botrytis cinerea*).

4. Выявлено, что возбудители гнилей ежегодно сохранялись на (в) семенах вигны, что приводило к сохранению возбудителей из года в год.

5. В России на северной границе культивируемого ареала вигны выявлено три заболевания, которые вызывали гнили, тогда как в других регионах их десять (грибной и бактериальной этиологии).

Работа поддержана бюджетным проектом ЦСБС СО РАН АААА-А21-121011290027-6.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фомев Ю.В. История исследований овощных растений в Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН. Прошлое, настоящее, будущее // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 35–53. – DOI: 10.18699/letvjgb-2024-10-5.
2. Фомев Ю.В., Храмова Е.П., Петров А.Ф. Биохимические особенности новых для России овощных культур в связи с их нетрадиционным использованием // Овощи России. – 2025. – № 2. – С. 54–60. – DOI: 10.18619/2072-9146-2025-2-54-60.
3. Рукиан Л.В., Новожилова Е.С. Бобовые культуры белорусской селекции – производство и перспективы // Пищевая промышленность. – 2022. – № 5. – С. 22–24. – DOI: 10.52653/PPI.2022.5.5.006.
4. Roberts L.M. The food legumes // Recommendations for expansion and acceleration of research to increase production of certain of these high-protein crops. – NY, 1970. – P. 127–231.
5. Consensus Document on the Biology of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.). Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology, No. 60. Environment Directorate, Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology. Environment Directorate Organisation for Economic Cooperation and Development. Paris, France: OECD. – 2015. – 44 p. – URL: [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2015\)48&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2015)48&doclanguage=en) (accessed: 15.10.2025).
6. Никифорова А.А., Казакова О.А., Фомев Ю.В. Болезни семян вигны в условиях юга Западной Сибири // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2022. – № 3(25). – С. 64–85. – DOI: 10.24888/2541-7835-2022-25-64-85.

7. Куркина Ю.Н. Чем болеет маш, или грибные болезни вигны лучистой // Овощи России. – 2022. – № 6. – С. 113–117. – DOI: 10.18619/2072-9146-2022-6-113-117.
8. Фотев Ю.В., Казакова О.А. Грибные заболевания спаржевой вигны на юге Западной Сибири // Овощи России. – 2019. – № 2(46). – С. 97–105. – DOI: 10.18619/2072-9146-2019-2-97-105.
9. Фотев Ю.В., Казакова О.А., Сунь Ц. Устойчивость вигны (*Vigna unguiculata*) к низкой температуре и патогенам в Сибири // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 105. – С. 251–255. – DOI: 10.21515/1999-1703-105-251-255.
10. Фотев Ю.В., Казакова О.А. Грибные заболевания спаржевой вигны на юге Западной Сибири // Овощи России. – 2019. – № 2(46). – С. 97–105. – DOI: 10.18619/2072-9146-2019-2-97-105.
11. Инфекционные болезни растений: этиология, современное состояние, проблемы и перспективы защиты растений / П.А. Назаров, Д.Н. Балеев, М.И. Иванова [и др.] // Acta Naturae (русскаяязычная версия). – 2020. – Т. 12, № 3(46). – С. 46–59. – DOI: 10.32607/actanaturae.11026.
12. Оценка фитосанитарного состояния при возделывании зерновых бобовых культур в условиях лесостепной зоны Поволжья / А.Л. Тойгильдин, М.И. Подсёвалов, И.А. Тойгильдина [и др.] // Нива Поволжья. – 2021. – № 2(59). – С. 19–27. – DOI: 10.36461/NP.2021.59.2.004. – EDN HYFBBY.
13. *Fusarium* head blight, growth, yield, and quality traits of spring wheat as influenced by variety and cultivation technologies / F.S. Saquee, S. Diakite, E.N. Pakina [et al.] // Journal of Agriculture and Environment. – 2025. – No. 1(53). – DOI: 10.60797/JAE.2025.53.3.
14. Matloob A.A. Biological management of the fungi causing root rot disease in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) // SABRAO Journal of Breeding and Genetics. – 2025. – Vol. 4. – P. 1718–1727. – DOI: 10.54910/sabrao2025.57.4.38.
15. Viljoen J.J.F., Truter M., Kritzing Q. Mycoflora and mycotoxins associated with stored cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) seeds from smallholder farmers in South Africa // Phytoparasitica. – 2025. – Vol. 53. – P. 44. – DOI: 10.1007/s12600-025-01267-6.
16. Management of major seed-borne fungi of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) with four selected botanical extracts / E. Gyasi, D.A. Kotey, B.A. Adongo [et al.] // Advances in Agriculture. – Vol. 2022. – Article ID 3125240. – 8 pages. – DOI: 10.1155/2022/3125240.
17. First report of root rot of cowpea caused by *Fusarium equiseti* in Georgia in the United States / Y.G. Li, S.Q. Zhang, L.P. Sun [et al.] // Plant Disease. – 2017. – Vol. 101(9). – P. 1674–1674.
18. Shrestha U., Butler D.M., Ownley B.H. First report of dry root and stem rot of cowpea caused by *Fusarium proliferatum* in the United States // Plant Disease. – 2015. – Vol. 100, № 4. – P. 0191–2917. – DOI: 10.1094/PDIS-09-15-1103-PDN.
19. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем / В.А. Чулкина, Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов [и др.]. – Барнаул, 2017. – 210 с.
20. Кирик Н.Н., Пиковский М.И. Симптоматика серой гнили фасоли // Защита и карантин растений. – 2007. – № 12. – С. 31.
21. Occurrence of *Sclerotinia sclerotiorum* Causing Sclerotinia Root Rot on American Ginseng in Northeastern China / Yi.M. Guan, Y.Y. Ma, L.L. Zhang [et al.] // Plant Disease. – 2022. – Vol. 106, № 5. – P. 1518. – DOI: 10.1094/pdis-05-21-1115-pdn.
22. *Sclerotinia sclerotiorum* causes Sclerotinia stem rot on Dragon's head (*Lallemantia iberica*) / H.R. Pouralibaba, M. Kheirgo, S. Kowkab, M. Kouhestani // Journal of Plant Diseases and Protection. – 2023. – Vol. 130, № 2. – P. 431–436. – DOI: 10.1007/s41348-023-00704-0.
23. *Sclerotinia sclerotiorum* de Бу в Тамбовской области / А.А. Выприцкая, А.А. Кузнецов, И.И. Мустафин [и др.] // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2015. – Т. 20, № 1. – С. 194–198.

REFERENCES

1. Fotev Y.V., *Letters to the Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2024, Vol. 10, No. 1, pp. 35–53, DOI: 10.18699/letvjgb-2024-10-5. (In Russ.)
2. Fotev Y.V., Khranova E.P., Petrov A.F., *Vegetables of Russia*, 2025, No. 2, pp. 54–60, DOI: 10.18619/2072-9146-2025-2-54-60. (In Russ.)
3. Rukshan L.V., Novozhilova E.S., *Food industry*, 2022, No. 5, pp. 22–24, DOI: 10.52653/PPI.2022.5.5.006. (In Russ.)
4. Roberts L.M., *The food legumes, Recommendations for expansion and acceleration of research to increase production of certain of these high-protein crops*, New York, 1970, pp. 127–231.
5. Consensus Document on the Biology of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.). Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology, No. 60. Environment Directorate, Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology. Environment Directorate, Organisation for Economic

- Cooperation and Development. Paris, France: OECD, 2015, 44 p., URL: [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2015\)48&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2015)48&doclanguage=en) (accessed: 15.10.2025).
6. Nikiforova A.A., Kazakova O.A., Fotev Yu.V., *Agro-industrial technologies of Central Russia*, 2022, No. 3(25), pp. 64–85, DOI: 10.24888/2541-7835-2022-25-64-85. (In Russ.)
 7. Kurkina Y.N., *Vegetables of Russia*, 2022, No. 6, pp. 113–117, DOI: 10.18619/2072-9146-2022-6-113-117. (In Russ.)
 8. Fotev Y.V., Kazakova O.A., *Vegetables of Russia*, 2019, No. 2(46), pp. 97–105, DOI: 10.18619/2072-9146-2019-2-97-105. (In Russ.)
 9. Fotev Y.V., Kazakova O.A., Sun Ts., *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, 2023, No. 105, pp. 251–255, DOI: 10.21515/1999-1703-105-251-255. (In Russ.)
 10. Fotev Y.V., Kazakova O.A., *Vegetables of Russia*, 2019, No. 2(46), pp. 97–105, DOI: 10.18619/2072-9146-2019-2-97-105. (In Russ.)
 11. Nazarov P.A., Baleev D.N., Ivanova M.I. [et al.], *Acta Naturae (Russian version)*, 2020, Vol. 12, No. 3(46), pp. 46–59, DOI: 10.32607/actanaturae.11026. (In Russ.)
 12. Toygildin A.L., Podsevalov M.I., Toygildina I.A. [et al.], *Niva Povolzhya*, 2021, No. 2 (59), pp. 19–27, DOI: 10.36461/NP.2021.59.2.004, EDN HYFBBY. (In Russ.)
 13. Saquee F.S., Diakite S., Pakina E.N. [et al.], Fusarium head blight, growth, yield, and quality traits of spring wheat as influenced by variety and cultivation technologies, *Journal of Agriculture and Environment*, 2025, No. 1(53), DOI: 10.60797/JAE.2025.53.3.
 14. Matloob A.A., Biological management of the fungi causing root rot disease in cowpea (*Vigna unguiculata* L.), *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 2025, Vol. 4, pp. 1718–1727, DOI: 10.54910/sabrao2025.57.4.38.
 15. Viljoen J.J.F., Truter M., Kritzing Q., Mycoflora and mycotoxins associated with stored cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) seeds from smallholder farmers in South Africa, *Phytoparasitica*, 2025, Vol. 53, pp. 44, DOI: 10.1007/s12600-025-01267-6.
 16. Gyasi E., Kotey D.A., Adongo B.A., Adams F.K., Owusu E.O., Mohammed A., Management of major seed-borne fungi of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) with four selected botanical extracts, *Advances in Agriculture*, Vol. 2022, Article ID 3125240. 8 pages, DOI: 10.1155/2022/3125240.
 17. Li Y.G., Zhang S.Q., Sun L.P., Li S., Ji P., First report of root rot of cowpea caused by *Fusarium equiseti* in Georgia in the United States, *Plant Disease*, 2017. Vol. 101(9), pp. 1674–1674.
 18. Shrestha U., Butler D.M., Ownley B.H., First report of dry root and stem rot of cowpea caused by *Fusarium proliferatum* in the United States, *Plant Disease*, 2015, Vol. 100, No. 4, pp. 0191–2917, DOI: 10.1094/PDIS-09-15-1103-PDN.
 19. Chulkina V.A., Toropova E.Yu., Stetsov G.Ya. [et al.], *Fitosanitarnaya diagnostika agroekosistem* (Phytosanitary diagnostics of agroecosystems), Barnaul, 2017, 210 p.
 20. Kirik N.N., Pikovsky M.I., *Plant Protection and Quarantine*, 2007, No. 12, pp. 31. (In Russ.)
 21. Guan Yi.M., Ma Y.Y., Zhang L.L. [et al.], Occurrence of *Sclerotinia sclerotiorum* Causing Sclerotinia Root Rot on American Ginseng in Northeastern China, *Plant Disease*, 2022, Vol. 106, No. 5, pp. 1518, DOI: 10.1094/pdis-05-21-1115-pdn.
 22. Pouralibab H.R., Kheirgoo M., Kowkab S., Kouhestani M., *Sclerotinia sclerotiorum* causes *Sclerotinia* stem rot on Dragon's head (*Lallemantia iberica*), *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2023, Vol. 130, No. 2, pp. 431–436, DOI: 10.1007/s41348-023-00704-0.
 23. Vypriczskaya A.A., Kuznecov A.A., Mustafin I.I. [i dr.], *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvenny'e i tekhnicheskie nauki*, 2015, T. 20, No. 1, pp. 194–198. (In Russ.)

Информация об авторах:

О.А. Казакова, кандидат биологических наук, доцент

А.А. Никифорова, агроном ООО «Новабьотик»

Ю.В. Фотев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Contribution of the authors:

O.A. Kazakova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

A.A. Nikiforova, agronomist Novabiotic LLC

Yu.V. Fotev, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА УРОЖАЙНОСТЬ И ЗИМОСТОЙКОСТЬ ОЗИМОГО ЧЕСНОКА (*ALLIUM SATIVUM* L.) В УСЛОВИЯХ ПРИОБСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

¹П.А. Лях, ²А.А. Лях

¹Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия

²Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, Новосибирск, Россия

E-mail: pavelljakh@mail.ru

Для цитирования: Лях П.А., Лях А.А. Влияние высоты снежного покрова на урожайность и зимостойкость озимого чеснока (*Allium sativum* L.) в условиях Приобской лесостепи // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 17–25. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-17-25.

Реферат. В статье представлены результаты исследований влияния искусственно формируемой высоты снежного покрова (0, 10, 20, 30 (контроль), 50 см) на урожайность и зимостойкость отборной формы озимого чеснока С-21 дальневосточной эколого-географической зоны. Исследования проведены в 2023–2025 гг. на опытном овощеводческом участке Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции (СибНИИРС). Установлена сильная положительная корреляция между высотой снежного покрова и изучаемыми признаками: для урожайности в 2023–2024 гг. $r = 0,812$ ($p < 0,05$), в 2024–2025 гг. $r = 0,96$ ($p < 0,05$), для средней массы луковицы в 2023–2024 гг. и 2024–2025 гг. $r = 0,907$ ($p < 0,05$). Наивысшая урожайность в 2024–2025 гг. (1,71 кг/м²) и в 2024–2025 гг. (2,1 кг/м²), а также зимостойкость (94–95 %) отмечены при высоте снега 50 см. Снижение высоты снежного покрова до 10 см приводило к существенному снижению урожайности (1,0–1,11 кг/м²) и зимостойкости (52,5–55 %). При отсутствии снега в 2023–2024 гг. растения вымерзли полностью, в 2024–2025 гг. при более мягких условиях зимне-весеннего периода выживаемость растений составила 9 %. Анализ температурного режима почвы подтвердил ключевую роль снега в обеспечении положительного теплового баланса в зимний период. Для гарантированной перезимовки озимого чеснока в регионе исследования критический минимальный уровень снежного покрова составляет 20–30 см. Для гарантированного получения высоких урожаев озимого чеснока рекомендуется проведение мероприятий по снегозадержанию. Потепление на территории Приобской лесостепи не сопровождается повышением засушливости, что создает благоприятные условия для расширения посевов озимых культур.

Ключевые слова: озимый чеснок, снежный покров, урожайность, зимостойкость, температурный режим почвы, Приобская лесостепь.

INFLUENCE OF SNOW COVER HEIGHT ON THE YIELD AND WINTER HARDINESS OF WINTER GARLIC (*ALLIUM SATIVUM* L.) IN THE PRIOBSKAYA FOREST-STEPPE

¹P.A. Lyakh, ²A.A. Lyakh

¹Siberian Scientific Research Institute of Plant Growing and Breeding – Branch of the Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

²Siberian State University of Engineering and Biotechnology, Novosibirsk, Russia

E-mail: pavelljakh@mail.ru

Abstract: The article presents the results of studies on the effect of artificially formed snow cover height (0, 10, 20, 30 (control), 50 cm) on the yield and winter hardiness of the selected form of winter garlic C-21 in the Far Eastern ecological and geographical zone. The studies were conducted in 2023–2025 at the experimental vegetable plot of the Siberian Research Institute of Vegetable Growing. A strong positive correlation has been established between the height of the snow cover and the studied characteristics: for yields in 2023–2024, it was ($r = 0.812$) ($p < 0.05$), in 2024–2025 – ($r = 0.96$) ($p < 0.05$), for the average bulb weight in 2023–2024 and 2024–2025 – ($r = 0.907$) ($p < 0.05$). The highest yields in 2024–2025 (1.71 kg/m²) and in 2024–2025 (2.1 kg/m²), as well as winter hardiness (94–95 %), were observed at a snow depth of 50 cm. A decrease in snow cover height to 10 cm led to a significant decrease in yield (1.0–1.11 kg/m²) and winter hardiness (52.5–55 %). In the absence of snow in 2023–2024, the plants froze completely, while in 2024–2025, under milder winter-spring conditions, the survival rate of the plants was 9 %. The analysis of soil temperature patterns confirmed the key role of snow in maintaining a positive thermal balance during the winter season. For guaranteed overwintering of winter garlic

in the study region, the critical minimum level of snow cover is 20–30 cm. To ensure high yields of winter garlic, it is recommended to carry out snow retention measures. The warming in the Priobskaya forest-steppe is not accompanied by an increase in aridity, which creates favorable conditions for expanding the cultivation of winter crops.

Keywords: winter garlic, snow cover, yield, winter hardiness, soil temperature regime, Priobskaya forest-steppe.

Чеснок (*Allium sativum* L.) – типичное растение семейства Амариллисовые (*Amaryllidaceae*) согласно системе классификации APG III, известное в культуре более 4 тыс. лет [1]. Он используется в свежем виде, в качестве приправы к различным блюдам, при консервировании, как лекарственное средство [2]. Существуют две формы чеснока, которые отличаются сроками посадки: чеснок озимый, или стрелкующийся (*Allium sativum* L. subsp. *sigitatum* Kuzn.), и чеснок яровой, или нестрелкующийся (*Allium sativum* L. subsp. *vulgare* Kuzn.). В настоящее время выращивают преимущественно озимый чеснок, который более продуктивен [3]. В России яровой и озимый чеснок возделывается в сельскохозяйственных предприятиях, фермерских и личных подсобных хозяйствах, однако объем выращивания культуры в промышленном масштабе небольшой, кроме того, посевные площади в сельхозорганизациях ежегодно уменьшаются из-за низкой доходности от возделывания культуры [4]. Урожайность чеснока в промышленном производстве также остается невысокой и колеблется по годам (табл. 1).

Таблица 1

Посевные площади, урожайность и валовые сборы чеснока в Российской Федерации, 2022–2024 гг. [5]
Cultivation area, yield and gross harvest of garlic in the Russian Federation, 2022–2024 [5]

Показатель	2022 г.				2023 г.				2024 г.			
	1*	2*	3*	4*	1	2	3	4	1	2	3	4
Посевные площади, тыс. га	0,7	16,1	0,7	17,6	0,5	17,0	1,0	18,5	0,3	16,6	0,7	17,6
Урожайность, ц/га	31,3	88,6	49,7	85,2	29,5	98,1	41,7	93,8	33,3	100,6	55,2	98,0
Валовые сборы, тыс. ц	18,3	1429,2	32,9	1480,4	13,0	1668,6	39,0	1720,6	7,6	1663,3	34,5	1705,4

1* – сельскохозяйственные организации, 2* – хозяйства населения, 3* – крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели, 4* – хозяйства всех категорий.

Самые большие посевные площади чеснока, как и урожайность, остаются в личных подсобных хозяйствах населения.

Китай производит 81,16 % мирового объема чеснока, что делает его самым дешевым на рынке [6]. Для России КНР является ключевым поставщиком этого продукта. Так, в 2024 г. Китай обеспечил 76,4 % общего объема импорта чеснока [7].

Высокий спрос на чеснок побуждает российских производителей увеличивать объемы производства, а значит, вопросы повышения урожайности становятся все более актуальными. Продуктивность озимого чеснока, зимующие органы которого характеризуются относительно невысокой зимостойкостью, в значительной степени зависит от условий зимнего периода. При отсутствии снежного покрова зубки со слаборазвитой корневой системой вымерзают [8]. В условиях Западной Сибири снежный покров выполняет роль термического изолятора, обеспечивая перезимовку озимых культур. Он минимизирует промерзание почвы и защищает корневую систему растений от воздействия критически низких температур [9]. В связи с изменчивостью климатических условий и неустойчивостью снежного покрова в последние годы изучение его защитной роли представляет особый практический интерес для сельскохозяйственного производства.

Целью данной работы была количественная оценка влияния различной искусственно формируемой высоты снежного покрова на выживаемость, элементы продуктивности и урожайность озимого чеснока в условиях Приобской лесостепи.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2023–2025 гг. на опытном овощеводческом участке СибНИИРС. Объект исследования – отборная форма озимого чеснока С-21 дальневосточной эколого-географической зоны. Учетная площадь делянки составляла 1,25 м², повторность четырехкратная. Схема посадки – 25×25×25×25×50, площадь питания растения – 250 см². Возделывание проводилось по интенсивной технологии (интегрированная защита, севооборот, удобрения). Изучалось пять вариантов с разной искусственно формируемой высотой снежного покрова: 0, 10, 20, 30 (контроль) и 50 см. Уборку проводили в фазе десяти дней после спрямления стрелки. Стрелка удалялась в фазе начала скручивания. Учет урожайности проводился путем взвешивания урожая с каждой делянки с пересчетом на кг/м². Зимостойкость определяли, как процент перезимовавших растений от общего числа высаженных. Температурный режим почвы изучали с помощью глубинно-вытяжных термометров на глубинах 0,1; 0,2; 0,4 и 0,8 м. Температура на поверхности почвы/снега измерялась ежедневно в 14:00. Статистическая обработка данных включала расчет коэффициента корреляции Пирсона и определение наименьшей существенной разности НСР₀₅ [10].

Климат Приобской лесостепи континентальный с малоснежной холодной зимой и жарким коротким летом. Средняя многолетняя температура января, самого холодного месяца, составляет -17,0 °С, высота снежного покрова – от 20 до 40 см [11, 12]. В последние десятилетия климат становится мягче, но заток на территорию арктических воздушных масс может вызывать выхолаживание приземного воздуха и резкое снижение температур [12]. Наблюдение за температурой воздуха в зимне-весенний период в годы исследования показало отклонение от нормы в сторону повышения (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика погодных условий зимне-весеннего периода возделывания чеснока озимого, 2023–2025 гг. [13]

Characteristics of weather conditions for the winter-spring period of cultivation of winter garlic, 2023–2025 [13]

Показатель	Месяц					Средняя °С
	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	
Средняя многолетняя, °С	-6,8	-13,9	-17,0	-14,1	-6,8	-11,72
2023–2024 гг.						
Фактическая, °С	-2,4	-13,9	-14,8	-14,5	-4,0	-9,92
Отклонение от нормы ΔТ	+4,4	0,0	+2,2	-0,4	+2,8	+1,8
2024–2025 гг.						
Фактическая, °С	-4,4	-10,4	-9,3	-10,9	-3,7	-7,74
Отклонение от нормы ΔТ	+2,4	+3,5	+7,7	+3,2	+3,1	+3,98

За период с ноября 2023 г. по март 2024 г. средняя температура фактически достигла -9,92 °С, что выше среднемноголетних данных на 1,8 °С. Самая значительная разница с обычными показателями проявилась в ноябре (+4,4 °С). На протяжении всего рассматриваемого отрезка времени значения стабильно превышали многолетние, кроме февраля, который был по температурным показателям ниже на 0,4 °С.

В зимне-весенний сезон 2024–2025 гг. фактическая средняя температура составила -7,74 °С, это на 3,98 °С теплее многолетней нормы (-11,72 °С). Наиболее высокое положительное отклонение от средних многолетних показателей было зафиксировано в январе (+7,7 °С). Положительная аномалия наблюдалась стабильно в течение всего периода, о чем свидетельствуют отклонения: +2,4 °С в ноябре, +3,5 °С в декабре, +3,2 °С в феврале и +3,1 °С в марте. Сложившиеся агрометеорологические условия в период исследования в целом можно охарактеризовать как благоприятные для перезимовки озимого чеснока. Особенно благоприятным был температурный режим в период органического покоя растений (декабрь–январь), что минимизировало риски подмерзания донца луковицы и повреждения зачаточной корневой системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ температурного режима почвы в 2023–2024 гг. на глубине 0,1 м показал, что баланс положительных и отрицательных температур был резко отрицательным ($-431,6^{\circ}\text{C}$) при отсутствии снега и достигал максимальных положительных значений ($+407,46^{\circ}\text{C}$) при естественной высоте снега (54,2 см) (табл. 3). Уже при высоте снега 20 см баланс становился положительным ($+188,28^{\circ}\text{C}$), что и обеспечивало достаточную сохранность растений.

Таблица 3

Тепловой баланс (сумма температур) на глубине 0,1 м за период X–IV 2023–2024 гг.
Heat balance (sum of temperatures) at a depth of 0.1 m for the period X–IV 2023–2024.

Высота снежного покрова, см	Тепловой баланс, $^{\circ}\text{C}$
0	-431,6
10	-12,8
20	+188,28
30 (контроль)	+268,06
Естественный (54,2)	+407,46

В 2024–2025 гг. определялась температура почвы на глубине 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 м при естественном формировании снежного покрова и без него (табл. 4).

Таблица 4

Температура почвы по данным глубинно-вытяжного термометра с естественным формированием снежного покрова и без него, 2024–2025 гг.
Soil temperature according to deep-draft thermometer data with and without natural snow cover, 2024–2025.

Месяц	Температура, °С		Глубина, м				Высота снега, см
	воздуха	поверхности	0,1	0,2	0,4	0,8	
Температура почвы с естественным формированием снежного покрова							
09	9,7	19,5	14,58	14,17	14,75	14,92	0,0
10	3,7	9,38	7,04	6,46	6,91	10,49	1,0
11	-4,4	0,99	1,3	1,82	1,9	7,26	12,25
12	-10,4	-1,25	-0,1	0,18	0,276	4,18	22,17
01	-9,3	-1,18	-0,77	-1,08	-0,21	2,65	40,4
02	-10,9	-1,37	-0,96	-0,96	-0,47	1,26	51,13
03	-3,7	0,87	-0,86	-0,76	0,0	1,97	7,54
04	7,2	14,76	6,88	5,26	4,75	5,15	0,0
ΣT°>0	+624,8	+1383,2	+901,45	+848,3	+871,1	+1454,4	–
ΣT°<0	-1173,5	-155,4	-80,2	-84,6	-20,4	0,0	–
ΔΣT°*	-548,7	+1227,8	+821,3	+763,7	+850,7	+1454,4	–
Температура почвы без снежного покрова							
09	9,7	19,5	14,58	14,17	14,75	14,92	0
10	3,7	9,38	7,04	6,46	6,91	10,49	0
11	-4,4	0,49	0,576	0,75	1,99	7,99	0
12	-10,4	-7,78	-5,31	-4,23	-2,61	4,275	0
01	-9,3	-5,81	-4,56	-4,62	-3,86	2,65	0
02	-10,9	-3,21	-6,11	-5,87	-5,14	1,26	0
03	-3,7	3,06	-1,08	-2,33	-2,9	1,98	0
04	7,2	11,8	6,4	2,05	-0,15	2,95	0
ΣT°>0	+624,8	+1344,6	+872,1	+724,0	+717,5	+1413,0	–
ΣT°<0	-1173,5	-509,6	-520,4	-520,0	-445,7	0,0	–
ΔΣT°*	-548,7	+835,0	+351,7	+204	+271,8	+1413,0	–

* $\Delta \Sigma T^{\circ} = \Sigma T^{\circ} > 0 + \Sigma T^{\circ} < 0$.

В 2024–2025 гг. на глубине 0,1 м сумма отрицательных температур ($\Sigma T^{\circ} < 0$) под снежным покровом составила 80,2 градусодней, в то время как на участке без снега этот показатель достиг -520,4 градусодней (снижение в 6,5 раза). На глубине 0,2 м значение $\Sigma T^{\circ} < 0$ составило -84,6 градусодней под снегом против -520,0 градусодней без него (снижение в 6,1 раза). На глубине 0,4 м наблюдался максимальный протекторный эффект снежного покрова: снижение суммы отрицательных температур в 21,8 раза (-20,4 против -445,7 градусодней). Минимальные температуры на глубине 0,1 м без снежного покрова отмечались в феврале (-6,11 °C).

В результате исследований были получены данные о влиянии высоты снежного покрова на зимостойкость, урожайность и среднюю массу луковицы чеснока озимого (табл. 5).

Таблица 5

Влияние высоты снежного покрова на зимостойкость, урожайность и среднюю массу луковицы у озимого чеснока, 2023–2024 гг.

The influence of snow depth on winter hardiness, yield and average bulb weight of winter garlic, 2023–2024.

Высота снежного покрова, см	Зимостойкость, %	Средняя урожайность		Средняя масса луковицы, г	
		кг/м ²	% к контролю	г	% к контролю
50	94	2,1	109	58,8	102
30 (контроль)	90	1,92	100	57,5	100
20	88	1,8	94	47,7	83
10	53	1,11	58	44,6	78
0	0	–	–	–	–
НСР ₀₅	–	0,078	–	–	–

В 2024–2025 гг. помимо влияния снежного покрова на зимостойкость и урожайность озимого чеснока определялось его воздействие на структуру урожайности: определялась средняя масса луковицы, среднее количество зубков в ней и средняя масса одного зубка (табл. 6).

Таблица 6

Влияние высоты снежного покрова на зимостойкость, урожайность и структуру урожайности чеснока озимого, 2024–2025 гг.

The influence of snow depth on winter hardiness, yield and yield structure of winter garlic, 2024–2025.

Высота снежного покрова, см	Зимостойкость, %	Средняя урожайность		Средняя масса луковицы, г		Среднее кол-во зубков в луковице, шт.		Средняя масса одного зубка	
		кг/м ²	% к контролю	г	% к контролю	шт	% к контролю	г	% к контролю
50	95	1,71	108	59,6	106	4,9	96	12,2	112
30 (котроль)	90	1,58	100	56	100	5,1	100	10,9	100
20	86	1,38	87	46,3	83	5,0	98	9,2	84
10	55	1,0	63	44,6	78	5,6	110	7,7	71
0	9	0,14	9	43,4	–	5,6	110	6,9	63
НСР ₀₅	–	0,08	–	–	–	–	–	–	–

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наличие устойчивого снежного покрова оказало значительное смягчающее влияние на зимующие органы чеснока. Температурный режим почвы в 2023–2024 гг. на глубине 0,1 м уже при высоте снега 20 см характеризовался положительным балансом (+188,28 °C), что и обеспечивало достаточную сохранность растений. В 2024–2025 гг. минимальные температуры на глубине 0,1 м

без снежного покрова, фиксировавшиеся в феврале ($-6,11^{\circ}\text{C}$), были значительно ниже критических значений для зимующих органов чеснока (литературный порог составляет $-5...-7^{\circ}\text{C}$), что создало условия, неминуемо ведущие к гибели большей части растений [14].

В исследованиях 2023–2024 гг. было установлено, что высота снежного покрова непосредственно влияет на зимостойкость, урожайность и среднюю массу луковицы чеснока озимого. Так, зимостойкость закономерно снижалась от 94 % (естественный снег) до 52,5 % (10 см). При отсутствии снежного покрова озимая культура полностью вымерзла.

В 2023–2024 гг. урожайность чеснока при высоте снега 10 см составила $1,11\text{ кг/м}^2$, что в 1,7 раза ниже, чем в контроле ($1,92\text{ кг/м}^2$) и в 1,9 раза ниже, чем в варианте с 50 см ($2,1\text{ кг/м}^2$). Статистический анализ выявил достоверную сильную положительную линейную зависимость между высотой снежного покрова и продуктивностью озимого чеснока. Коэффициент корреляции Пирсона между высотой снежного покрова и урожайностью составил $r = 0,812$ ($p < 0,05$). Достоверность разниц в урожайности между вариантами опыта подтверждается расчетом $\text{НСР}_{05} = 0,078\text{ кг/м}^2$.

Средняя масса луковицы также была самой большой при высоте снежного покрова 50 см (102 % к контролю). Высота снега 30 см снижала среднюю массу луковицы на 17 %, высота 20 см – на 22 % по сравнению с контролем. Между высотой снежного покрова и средней массой луковицы коэффициент корреляции Пирсона составил $r = 0,907$ ($p < 0,05$).

В 2024–2025 гг. самую высокую зимостойкость (95 %) показал чеснок в варианте 50 см. Отсутствие снежного покрова позволило сохранить 9 % посадки. Это разнится с результатами предыдущего года, когда при отсутствии снежного покрова погибли все растения. Но следует напомнить, что фактическая средняя температура в зимне-весенний период 2024–2025 гг. была на $3,98^{\circ}\text{C}$ теплее многолетней нормы, а в период 2023–2024 гг. – только на $1,8^{\circ}\text{C}$ (рис. 1). Между высотой снежного покрова и показателем зимостойкости растений озимого чеснока в 2024–2025 гг. была установлена сильная положительная статистически значимая связь ($r = 0,96$; $p < 0,05$).

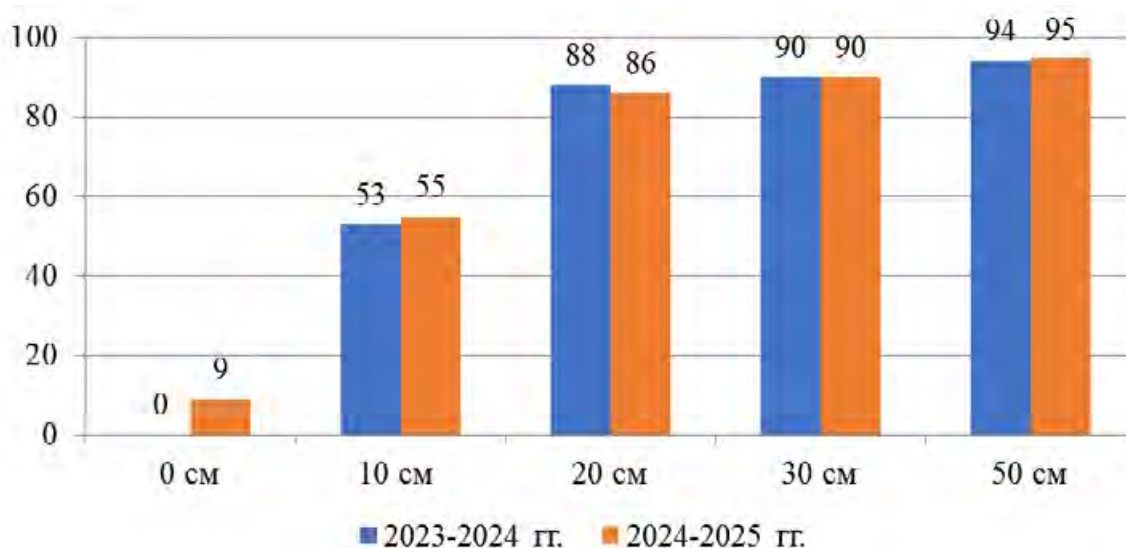


Рис. 1. Зимостойкость чеснока озимого в зависимости от высоты снежного покрова, %
Winter hardiness of winter garlic depending on the depth of snow cover, %

Урожайность в 2024–2025 гг. была ниже, чем в предыдущий год, но тенденция увеличения продуктивности при увеличении толщины снежного покрова сохранялась. Самая высокая урожайность была получена в варианте 50 см – $1,71\text{ кг/м}^2$, что составило 108 % по сравнению с контролем (рис. 2). Между высотой снежного покрова и урожайностью озимого чеснока в 2024–2025 гг. была выявлена статистически значимая сильная положительная корреляция ($r = 0,98$; $p < 0,05$).

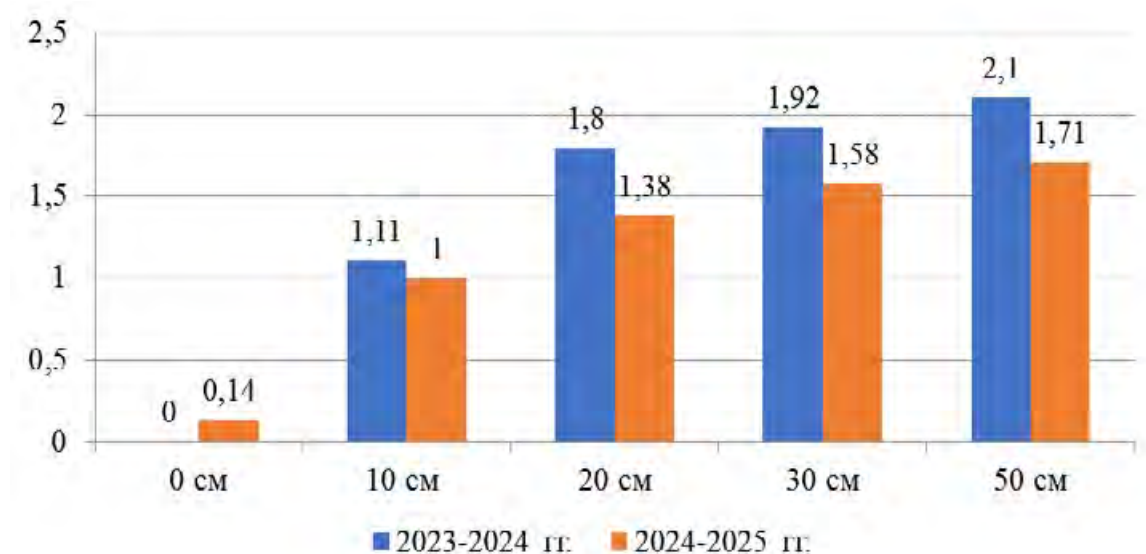


Рис. 2. Урожайность чеснока озимого в зависимости от высоты снежного покрова, кг/м²
Winter garlic yield depending on snow depth, kg/m²

Средняя масса луковицы в 2024–2025 гг. была самой большой при высоте снега 50 см: 59,6 г (106 % по сравнению с контролем), высота снега 20 см снижала массу луковицы на 17 % (рис. 3).



Рис. 3. Средняя масса луковицы чеснока озимого в зависимости от высоты снежного покрова, г
Average weight of a winter garlic bulb depending on the depth of snow cover, g.

Между высотой снежного покрова и средней массой луковицы в исследованиях 2024–2025 гг. коэффициент корреляции Пирсона составил $r = 0,907$ ($p < 0,05$). Также была установлена сильная корреляция урожайности со средней массой луковицы ($r = 0,92$) и количеством зубков ($r = 0,88$).

Обсуждение результатов также поднимает вопрос влагообеспеченности. Поскольку влага обладает высокой теплопроводностью, предпосевной полив за десять дней до посадки для создания влажности, близкой к наименьшей влагоемкости, является важным приемом для улучшения термического режима почвы осенью и защиты растений в начале зимы.

Для гарантированного получения высоких урожаев озимого чеснока рекомендуется проведение мероприятий по снегозадержанию, обеспечивающих формирование снежного покрова высотой не

менее 20–30 см в критические зимние месяцы. Согласно Третьему оценочному докладу об изменениях климата в Сибирском федеральном округе, потепление на данной территории не сопровождается повышением засушливости, что создает благоприятные условия для расширения посевов озимых культур [15].

ВЫВОДЫ

1. Установлена сильная положительная корреляционная зависимость между высотой снежного покрова (в диапазоне 0–50 см) и урожайностью: в 2023–2024 гг. она составила ($r = 0,812$, в 2024–2025 гг. $r = 0,96$).

2. Зафиксирована сильная положительная корреляция между высотой снежного покрова и массой луковицы: в 2023–2024 гг. $r = 0,907$, 2024–2025 гг. $r = 0,907$.

3. Для обеспечения высокой (> 90 %) зимостойкости и урожайности свыше 1,58 кг/м² в условиях Приобской лесостепи критический минимальный уровень снежного покрова составляет 20–30 см.

4. Снижение высоты снега до 10 см приводит к почти значительному снижению урожайности (до 1,0–1,11 кг/м²) и сильному падению зимостойкости (до 52,5–55 %). Отсутствие снежного покрова может вызвать полную гибель растений.

5. Поддержание оптимального предзимнего влагозапаса почвы является важным сопутствующим фактором, влияющим на эффективность термозащитной функции снежного покрова.

Работа выполнена при поддержке бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН FWNR-2026-0033.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саторов С., Мирзоева Ф.Д. Исследование антибактериальной активности экстрактов различных видов рода *Allium*, произрастающих в Таджикистане // Вестник Авиценны. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 216–234. – DOI: 10.25005/2074-0581-2021-23-2-216-234.
2. Коломейченко В.В. Полевые и огородные культуры России. Корнеплоды: монография. – СПб.: Лань, 2024. – 500 с.
3. Новые формы чеснока ярового для селекционного процесса в условиях Северо-Востока / В.М. Мотов, Т.М. Середин, Е.А. Слюдова, В.В. Шумилина // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2023. – № 01 (230). – С. 23–33. – DOI: 10.32417/1997-4868-2023-230-01-23-33.
4. Сурихина Т.Н., Азопкова М.А. Аналитический обзор производства чеснока в России // Рисоводство. – 2024. – № 2 (63). – С. 85–91. – DOI: 10.33775/1684-2464-2024-63-2-85-91.
5. Росстат. Посевные площади, валовые сборы, урожайность сельскохозяйственных культур. URL: <http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/> (дата обращения: 08.10.2025).
6. Justification of agrobiological parameters for winter garlic cultivation in organic production / O. Turak [et al.] // Ecological Engineering & Environmental Technology. – 2025. – Vol. 26(4). – P. 190–199. – DOI: 10.12912/27197050/201049.
7. О поставках чеснока в Россию из Китая в 2022–2025 гг. URL: <https://ab-centre.ru/news/o-postavkah-chesnoka-v-rossiyu-iz-kitaya-v-2022-2025-gg> (дата обращения: 05.09.2025).
8. Чеснок. Биология, селекция, агротехника возделывания: рекомендации / В.В. Скорина, Н.П. Купренин, Вит.В. Скорина, И.Г. Кохтенкова. – Горки: БГСХА, 2020. – 63 с. – DOI: 10.18619/2072-9146-2023-4-58-61.
9. Шульгин А.М. Почвенный климат и снегозадержание. – М., 1954. – 108 с.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. завед. по аграрн. спец. – М.: Альянс, 2015. – 351 с.
11. Воронина Л.В., Гриценко А.Г. Климат и экология Новосибирской области. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 228 с.
12. Воронина П.В. Динамика температуры поверхности Новосибирской области по данным дистанционного зондирования в XXI веке // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – С. 31–39. – DOI: 10.33764/2618-981X-2022-4-31-39.
13. Климатический монитор. Архив погоды. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=29638> (дата обращения: 05.10.2025).
14. Гуммер Ю.Х. Зимостойкость сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, 1970. – 215 с.
15. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. – 124 с.

REFERENCES

1. Satorov S., Mirzoeva F.D., *Vestnik Avicenny*, 2021, T. 23, No. 2, pp. 216–234, DOI: 10.25005/2074-0581-2021-23-2-216-234. (In Russ.)

2. Kolomeichenko V.V., *Polevye i ogorodnye kul'tury Rossii. Korneplody* (Field and Garden Crops of Russia. Root Vegetables), Sankt-Petersburg: Lan, 2024, 500 p.
3. Motov V.M., Seredin T.M., Slyudova E.A., Shumilina V.V., *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2023, No. 01 (230), pp. 23–33, DOI: 10.32417/1997-4868-2023-230-01-23-33. (In Russ.)
4. Surikhina T.N., Azopkova M.A., *Rice farming*, 2024, No. 2 (63), pp. 85–91, DOI: 10.33775/1684-2464-2024-63-2-85-91. (In Russ.)
5. *Rosstat. Posevnye ploshchad', valovye sbory, urozhajnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur* (Rosstat. Sown area, gross harvests, and crop yields). URL: <http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/>. (In Russ.)
6. Turak O. [et al.], Justification of agrobiological parameters for winter garlic cultivation in organic production, *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 2025, Vol. 26(4), pp. 190–199, DOI: 10.12912/27197050/201049.
7. *O postavkah chesnoka v Rossiyu iz Kitaya v 2022–2025 gg.* (On the supply of garlic to Russia from China in 2022–2025). URL: <https://ab-centre.ru/news/o-postavkah-chesnoka-v-rossiyu-iz-kitaya-v-2022-2025-gg>. (In Russ.)
8. Skorina V.V., Kupreenko N.P., Skorina Vit.V., Kokhtenkova I.G., *Chesnok. Biologiya, selekciya, agrotekhnika vozdevlyaniya: rekomendacii* (Garlic. Biology, Breeding, and Cultivation Techniques: Recommendations), Gorki: BSAU, 2020, 63 p., DOI: 10.18619/2072-9146-2023-4-58-61.
9. Shulgin A.M., *Pochvennyj klimat i snegozaderzhanie* (Soil Climate and Snow Retention), Moscow, 1954, 108 p.
10. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)* (Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: Alliance, 2015, 351 p.
11. Voronina L.V., Gritsenko A.G., *Klimat i ekologiya Novosibirskoj oblasti* (Climate and Ecology of the Novosibirsk Region), Novosibirsk: SGGa, 2011, 228 p.
12. Voronina P.V., *Interexpo Geo-Siberia*, 2022, pp. 31–39, DOI: 10.33764/2618-981X-2022-4-31-39. (In Russ.)
13. *Klimaticheskij monitor. Arhiv pogody* (Climate Monitor. Weather Archive). URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=29638>. (In Russ.)
14. Gummer Yu.Kh., *Zimostojkost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur* (Winter hardiness of crops), Moscow: Kolos, 1970, 215 p.
15. *Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshchee rezyume* (The Third Assessment Report on Climate Change and Its Impacts in the Russian Federation. General summary), Sankt-Petersburg: Science-Intensive Technologies, 2022, 124 p.

Информация об авторах:

П.А. Лях, аспирант

А.А. Лях, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Contribution of the authors:

P.A. Lyakh, Postgraduate Student

A.A. Lyakh, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОДВОЕВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ СОРТОВ ГРУШИ В МОЛОДОМ САДУ

Н.И. Матвеева

Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, Астраханская область, с. Солёное Займище, Россия

E-mail: matni29@mail.ru

Для цитирования: Матвеева Н.И. Анализ влияния подвоев на рост и развитие сортов груши в молодом саду // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 26–36. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-26-36.

Реферат. Цель исследования – изучение важнейших хозяйственно ценных признаков привойно-подвойных комбинаций груши в аридных условиях Северного Прикаспия. Исследования проводились в 2023–2025 гг. Были изучены особенности роста и развития деревьев груши в комбинациях разных сортов и клоновых подвоев, определены показатели привойно-подвойных комбинаций груши в молодом саду. В изучаемых привойно-подвойных комбинациях высокая приживаемость, достигавшая 86,8...100,0 % была у всех сортов груши. Самая ранняя вегетация (19.03) наступила у летних сортов Красивая (к) в комбинации с подвоем ПГ 17-16, Надежда – ПГ-12, Молдавская ранняя – ПГ-12. Раннее распускание вегетативных почек началось у осеннего сорта Банкетная (к) 21.03 на подвое ПГ 17-16. Интенсивным ростом характеризовались сорта Красивая (к) – 51,2 см на подвое ПГ-2, Надежда 41,6 см на подвое Айва С, Молдавская ранняя – 44,6 см, Зимняя Млиевская – 71,2 см на подвое ПГ-12. По приросту окружности штамба наилучшие значения были зафиксированы у летнего сорта Молдавская ранняя на подвое ПГ-12 – 2,2 см. Лучший рост однолетних побегов достигал 17,5 см в комбинации с подвоем Айва С и 17,3 см с подвоем ПГ-2 был отмечен у сорта Зимняя кубовидная. Максимальные расчетные показатели площади проекции кроны отмечены у сортов Зимняя кубовидная (2,3 м²) и Тихий Дон (2,2 м²) на варианте типа кроны «чашевидная». Анализ показал, что применение для груши способа формирования «чашевидная» на полукарликовом подвое ПГ-12 дает лучшие результаты для активной побегообразовательной способности растений, где суммарный прирост побегов составил 58,4 см на каждое растение.

Ключевые слова: подвой, приживаемость, сохранность, привой, прирост, окружность штамба, привойно-подвойные комбинации, сорт.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ROOTSTOCKS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF PEAR VARIETIES IN A YOUNG GARDEN

N.I. Matveeva

Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Astrakhan Region, Solenoye Zaymishche village, Russia

E-mail: matni29@mail.ru

Abstract. The objective of the study was to investigate the most important economically valuable traits of pear scion-rootstock combinations in the arid conditions of the Northern Caspian region. The studies were conducted in 2023–2025. The growth and development characteristics of pear trees in combinations of different varieties and clonal rootstocks were studied, and the performance of pear scion-rootstock combinations in a young orchard was determined. In the studied scion-rootstock combinations, all pear varieties demonstrated high survival rates, reaching 86.8...100.0 %. The earliest vegetation (March 19) was observed in the summer varieties Krasivaya (k) in combination with the PG 17-16 rootstock, Nadezhda – PG-12, Moldavskaya rannaya – PG-12. Early vegetative bud break began in the autumn variety Banketnaya (k) on March 21 on the PG 17-16 rootstock. The following varieties were characterized by intensive growth: Krasivaya (k) – 51.2 cm on the PG-2 rootstock, Nadezhda 41.6 cm on the Quince S rootstock, Moldavskaya rannaya – 44.6 cm, Zimnyaya Mlievskaya – 71.2 cm on the PG-12 rootstock. In terms of trunk circumference increase, the best values were recorded for the summer variety Moldavskaya rannaya on the PG-12 rootstock – 2.2 cm. The best growth of annual shoots reached 17.5 cm in combination with the Quince S rootstock and 17.3 cm with the PG-2 rootstock was noted for the Zimnyaya kuborevidnaya variety. The maximum calculated values of the crown projection area were noted for the varieties Zimnyaya kuborevidnaya (2.3 m²) and Tikhyy Don (2.2 m²) on the “cup-shaped” crown type variant. The analysis showed that the use of the “cup-shaped” pear shaping method on the semi-dwarf rootstock PG-12 gives the best results for the active shoot-forming ability of plants, where the total shoot growth was 58.4 cm per plant.

Keywords: rootstock, survival rate, scion, growth, trunk circumference, scion-rootstock combinations, variety.

Груша играет значительную роль в обеспечении населения свежими фруктами. В отличие от яблони грушевые деревья характеризуются регулярным ежегодным плодоношением [1]. В России площади, отведенные под грушевые культуры, составляют 5 % от общего объема садовых насаждений (18–20 тыс. га). Однако урожайность этой культуры пока не достигает своего полного потенциала. Увеличение объемов производства груш возможно благодаря созданию интенсивных садов, в которых ключевыми факторами являются выбор сорта, подвоя и схемы посадки деревьев. В настоящее время промышленное производство груш основано на двух типах подвоев: семенные и клоновые карликовые формы, полученные от айвы обыкновенной. Выбор конкретного типа подвоя существенно влияет не только на морфологические характеристики кроны привитых деревьев, но также на сроки вступления в плодоношение, продолжительность периода плодоношения, объемы урожая, качество плодов и устойчивость к экстремальным условиям окружающей среды [2].

Одним из ключевых факторов повышения эффективности плодоводства является внедрение практики выращивания слаборослых садов с использованием клоновых подвоев. Применение клоновых подвоев обусловлено рядом преимуществ. Во-первых, уход за растениями может осуществляться непосредственно с земли или с помощью невысоких лестниц. Это, в свою очередь, приводит к значительному увеличению производительности труда при сборе урожая и проведении обрезки – от 1,5 до 3 раз [3]. Отобранные в последнее время формы груши в качестве клоновых подвоев [3, 4] необходимо обстоятельно и глубоко изучить в условиях сада и лишь на основании комплексной проверки их можно рекомендовать для районирования и использования в промышленных садах.

Астраханская область расположена в центральной части Северного Прикаспия. Климат резко континентальный, с жарким и сухим летом с большим числом засушливых и суховейных дней. суровой и малоснежной зимой. Основное накопление влаги происходит в декабре–марте, когда выпадает до 75...100 мм осадков. Влага расходуется весной и ранним летом. Поэтому для закладки насаждений требуется более тщательный подбор подвоев, с повышенным адаптивным потенциалом. С недавних пор в южных регионах страны, в том числе и в Астраханской области, активизировалась закладка интенсивных садов новыми сортами на слаборослых клоновых подвоях.

Нижеволжский регион является благоприятным для выращивания семечковых культур [5, 9]. Это свидетельствует о том, что каждая природно-климатическая зона должна использовать адаптированные клоновые подвои, пригодные для выращивания в данных условиях и создания привойно-подвойных комбинаций.

Цель исследований – изучение и подбор новых привойно-подвойных комбинаций груши по основным хозяйственно ценным показателям, обеспечивающих максимальную продуктивность и улучшенные потребительские свойства плодов, обладающих повышенной устойчивостью к абиотическим стрессовым факторам в условиях засушливого климата Северного Прикаспия.

Задачи исследований: изучить особенности прохождения основных фенологических фаз, приживаемость привойно-подвойных комбинаций; изучить биометрические показатели (динамика роста побегов, высота, диаметр штамба, количество скелетных ветвей) и влияние на них различных видов формирования кроны деревьев.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опыт был заложен двулетними саженцами осенью 2020 г. Исследования проводились на протяжении 2020–2025 гг. На момент проведения исследований сад имеет пятилетний возраст начиная с даты посадки и является молодым садом. Объектами исследований служили 10 интродуцированных сортов груши (селекция Дубовского опорного пункта) разного срока созревания: летние – Красивая, Надежда, Молдавская ранняя; осенние – Банкетная, Майкопский сувенир, Тихий Дон, Дубовская Юбилейная, Памяти Корнеева, Зимняя кубореvidная, Зимняя Млиевская, в комбинации с подвоями селекции МичГАУ. Каждый сорт представлен пятью привойно-подвойными комбинациями. Общее количество делянок – 50. Схема посадки в зависимости от подвоя:

- на карликовых – Айва С – $5,0 \times 2,0$ м;
- на полукарликовых – ВА 29 (к), ПГ-12 – $5,0 \times 2,0$ м;

- на среднерослых – ПГ 17-16 – 5,0 × 3,0 м;
- сильнорослый – ПГ-2 – 5,0 × 4,0 м.

Контролем являлись районированные сорта: летний – Красивая и осенний – Банкетная на клоновом подвое ВА 29. Опыт двухфакторный, фактор А – сорт, фактор В – подвой. В саду функционирует капельное орошение.

Исследование проводилось на участке молодого сада ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», расположенного во втором агроклиматическом районе Астраханской области, близкого по условиям к полупустыням. Почва опытного участка светло-каштановая, карбонатная, мощная и среднемощная легкосуглинистого состава. Содержание гумуса низкое – 0,92–1,05 %, грунтовые воды залегают ниже 3,5 м.

Полевые и лабораторные опыты проводились по программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур [6]. Экспериментальные данные обработаны методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Практически у всех сортов груши процент приживаемости был высокий и достигал 86,8...100,0 %. Самая низкая приживаемость отмечена у сорта Дубовская Юбилейная, которая составила 75,4 % на подвое ПГ-12.

Из-за ежегодных высоких летних температур (в июне +40,4 °С днем, ночью +20,1 °С) и отсутствия атмосферных осадков у сортов груши на некоторых комбинациях был незначительный выпад деревьев. Более заметный произошел у сорта Красивая (к) на подвое ПГ-12 и ВА-29 (к) – 15,5 и 11,6 % соответственно. На сорте Тихий Дон на подвое ПГ-12 процент выпадения составил 16,8 %. Из-за возвратных заморозков (-3,7 °С) в апреле 2022 г., в фазу распускания почек произошло небольшое подмерзание части верхушечных вегетативных почек, и в зависимости от сорта оно составило 0,5...1,5 %. Несмотря на это деревья груши все сохранились, и в течение сезона состояние деревьев было хорошее.

За вегетационный период (апрель–октябрь) на капельном орошении было проведено 30 поливов привойно-подвойных комбинаций груши объемом 4272 м³/га. К концу вегетации высокая сохранность деревьев, составившая 91,7...100 %, отмечена у большинства сортов. Самая ранняя вегетация (19.03) наступала у летних сортов Красивая (к) на подвое ПГ 17-16, Надежда – ПГ-12, Молдавская ранняя – ПГ-12. Из осенних сортов раннее распускание вегетативных почек начиналось у сорта Банкетная (к) – 21.03 – на подвое ПГ 17-16. Позднее всех – у сортов Зимняя Млиевская (04.04) на подвоях ВА-29 (к) и Айва С. Распускание почек у остальных зимних сортов началось почти одновременно на всех подвоях (25.03–30.03), но на 1–6 дней позже контрольного сорта Банкетная. В первый год вегетации наблюдалось единичное цветение деревьев груши у сорта Майкопский сувенир на подвое ПГ-2 (табл. 1).

Таблица 1

Прохождение основных фенологических фаз развития сортами груши, среднее 2021–2025 гг.
Progression through the main phenological phases of pear variety development, average 2021–2025

Сорт	Распускание вегетативных почек	Листопад	
		начало	конец
1	2	3	4
<i>Летние</i>			
Красивая (контроль)			
ПГ-12	20.03	09.11	17.11
ПГ 17-16	19.03	08.11	15.11
ПГ-2	20.03	09.11	14.11
ВА 29 (к)	22.03	08.11	15.11
Айва С	23.03	10.11	14.11

1	2	3	4
Надежда			
ПГ-12	19.03	05.11	09.11
ПГ 17-16	20.03	07.11	14.11
ПГ-2	20.03	09.11	16.11
ВА 29 (к)	21.03	08.11	17.11
Айва С	23.03	08.11	14.11
Молдавская ранняя			
ПГ-12	19.03	05.11	11.11
ПГ 17-16	21.03	07.11	10.11
ПГ-2	20.03	05.11	10.11
ВА 29 (к)	22.03	07.11	11.11
Айва С	23.03	07.11	11.11
Осенние			
Банкетная (контроль)			
ПГ-12	24.03	09.11	15.11
ПГ 17-16	21.03	10.11	16.11
ПГ-2	23.03	09.11	15.11
ВА 29 (к)	24.03	10.11	16.11
Айва С	24.03	10.11	16.11
Майкопский сувенир			
ПГ-12	24.03	09.11	13.11
ПГ 17-16	26.03	08.11	15.11
ПГ-2	28.03	09.11	15.11
ВА 29 (к)	28.03	08.11	14.11
Айва С	24.03	10.11	14.11
Тихий Дон			
ПГ-12	25.03	09.11	15.11
ПГ 17-16	26.03	10.11	17.11
ПГ-2	28.03	09.11	15.11
ВА 29 (к)	28.03	10.11	16.11
Айва С	24.03	10.11	16.11
Дубовская Юбилейная			
ПГ-12	30.03	11.11	15.11
ПГ 17-16	26.03	10.11	14.11
ПГ – 2 ПГ-2	28.03	09.11	15.11
ВА 29 (к)	30.03	10.11	16.11
Айва С	28.03	10.11	16.11
Памяти Корнеева			
ПГ-12	21.03	09.11	15.11
ПГ 17-16	28.03	10.11	17.11
ПГ-2	30.03	11.11	15.11

1	2	3	4
ВА 29 (к)	28.03	10.11	16.11
Айва С		10.11	16.11
Зимняя куборевидная			
ПГ-12	28.03	09.11	15.11
ПГ 17-16	28.03	10.11	17.11
ПГ-2	30.03	11.11	15.11
ВА 29 (к)	28.03	10.11	16.11
Айва С	30.03	10.11	16.11
Зимняя Млиевская			
ПГ-12	28.03	10.11	15.11
ПГ 17-16	28.03	10.11	15.11
ПГ-2	30.03	10.11	15.11
ВА 29 (к)	4.04	10.11	16.11
Айва С	4.04	10.11	16.11

Из-за теплой и продолжительной осени листопад наступал в I декаде ноября (05.11–10.11) у летних сортов Красивая (к), Надежда, Молдавская ранняя, а у осенних сортов – Банкетная (к), Майкопский сувенир, Тихий Дон, Дубовская юбилейная, Памяти Корнеева, Зимняя куборевидная, Зимняя Млиевская листопад начинался 9.11–11.11 и заканчивался 13.11–17.11. В изучаемый период вегетации основная часть сортов груши имела хорошее развитие надземной части деревьев. В группе летних сортов интенсивным ростом характеризовались Красивая (к) – 51,2 см на подвое ПГ-2, Надежда 41,6 см в комбинации с подвоем Айва С, Молдавская ранняя – 44,6 см при НСР_{0,5} = 2,2 см на подвое ПГ-12. По показателю прирост высоты дерева комбинация подвоя ПГ-2 и сорта Красивая (к) был выше, чем на этом же подвое у сортов Надежда и Молдавская ранняя на 9,6 см и 6,6 см соответственно.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В группе осенних сортов хорошие ростовые показатели (55,0–71,2 см) зафиксированы у сортов Майкопский сувенир, Тихий Дон, Дубовская Юбилейная, Памяти Корнеева, Зимняя куборевидная, Зимняя Млиевская на подвое ПГ-12. Факторный анализ показал при НСР_{0,5} = 2,3 см лучший прирост высоты дерева на комбинации сорта Зимняя куборевидная 71,2 см и подвоя ПГ-12, превысив контрольный подвой ВА-29 (34,1 см) на 37,1 см. Прирост высоты в комбинации сорта Тихий Дон и подвоя ПГ-12 составил 70,7 см при НСР_{0,5} = 2,4 см, чем этот же сорт на подвое ВА-29 (22,3 см), и был выше на 48,4 см.

По приросту окружности штамба лучшие значения были зафиксированы в комбинации сорта Молдавская ранняя с подвоем ПГ-12 – 2,2 см при НСР_{0,5} = 1,4 см, что на 0,8 см превысило контрольный сорт Красивая на этом же подвое. Также прирост окружности штамба на подвое ВА-29 (к) – 1,8 см на сорте Молдавская ранняя превысил на 1,3 см контроль сорта Красивая. В группе осенних сортов хорошие ростовые показатели по приросту окружности штамба были в комбинации сорта Майкопский сувенир и подвоя ПГ-12–2,1 см, Айва С – 1,9 см и ПГ-17-16 – 1,8 см при НСР_{0,5} = 1,3 см. В остальных комбинациях сортов груши и подвоях приросты соответствовали контролю и находились в диапазоне от 1,1–1,5 см. Осенью проводится оценка общего состояния деревьев. У летних сортов Красивая, Надежда и Молдавская ранняя, а также у осенних Зимняя куборевидная, Зимняя Млиевская, Майкопский сувенир, Тихий Дон деревья здоровые, с хорошо развитой надземной частью (5,0 балла). У остальных сортов состояние деревьев хорошее, со средним приростом (4,1–4,7 балла). В табл. 2 представлены биометрические показатели роста сортов груши.

Биометрические показатели роста сортов груши в молодом саду, среднее 2023–2025 гг.
Biometric growth indicators of pear varieties in a young orchard, average 2023–2025

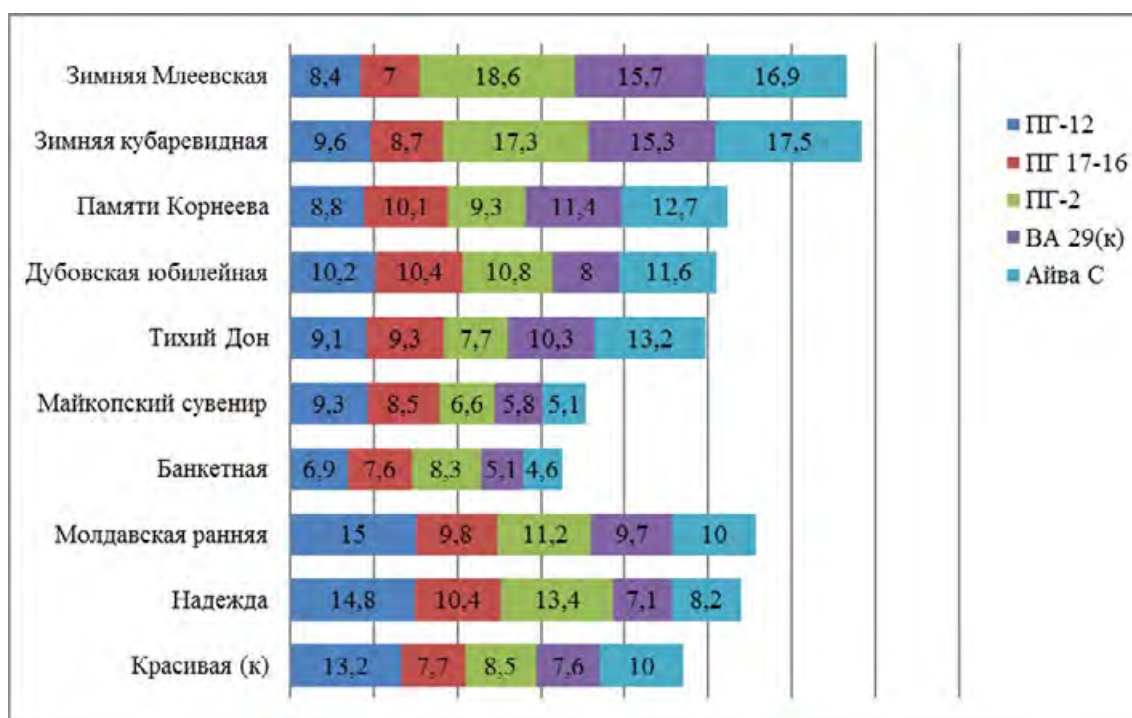
Сорт	Прирост, см		Кол-во ветвей, шт.		Состояние деревьев осенью, балл
	высоты дерева	окружности штамба	I порядка	II порядка	
1	2	3	4	5	6
<i>Летние</i>					
Красивая (контроль)					
ПГ-12	15,4	1,4	1,6	0,0	4,4
ПГ 17-16	26,3	1,1	1,3	0,0	5,0
ПГ-2	51,2	1,0	1,8	0,0	5,0
ВА 29 (к)	25,1	0,5	1,0	0,0	4,1
Айва С	44,3	1,2	1,7	0,0	4,5
НСР ₀₅	2,2	1,3	0,4	0,0	
Надежда					
ПГ-12	37,3	1,6	7,2	1,0	5,0
ПГ 17-16	28,6	1,4	3,2	0,0	5,0
ПГ-2	35,0	1,5	2,5	0,0	5,0
ВА 29 (к)	26,2	1,3	2,2	0,0	5,0
Айва С	41,6	1,7	1,4	1,0	4,9
НСР ₀₅	2,1	1,1	0,5	0,01	
Молдавская ранняя					
ПГ-12	44,6	2,2	6,8	1,4	5,0
ПГ 17-16	31,0	1,6	10,3	1,6	5,0
ПГ-2	43,1	1,5	7,8	0,0	5,0
ВА 29 (к)	41,2	1,8	4,9	2,0	5,0
Айва С	22,0	1,7	8,2	1,3	4,9
НСР ₀₅	2,2	1,4	0,3	0,02	
<i>Осенние</i>					
Банкетная (контроль)					
ПГ-12	52,0	1,5	7,2	2,3	5,0
ПГ 17-16	46,0	1,4	4,4	0,0	4,7
ПГ-2	38,5	1,2	1,5	0,0	5,0
ВА 29 (к)	41,4	1,8	5,0	2,0	5,0
Айва С	26,0	1,8	9,2	1,4	4,1
НСР ₀₅	2,3	1,2	0,3	0,02	
Майкопский сувенир					
ПГ-12	55,0	2,1	5,6	0,0	5,0
ПГ 17-16	43,1	1,8	7,0	0,0	5,0
ПГ-2	61,2	1,5	6,3	0,4	5,0

1	2	3	4	5	6
ВА 29 (к)	56,3	1,7	6,4	1,0	5,0
Айва С	32,0	1,9	5,8	1,0	5,0
НСР ₀₅	2,3	1,3	0,4	0,03	
Тихий Дон					
ПГ-12	70,7	1,5	6,0	1,2	5,0
ПГ 17-16	36,4	1,3	5,1	0,0	5,0
ПГ-2	48,6	1,4	8,4	0,0	5,0
ВА 29 (к)	22,3	0,6	3,3	0,3	5,0
Айва С	24,6	1,2	2,0	0,0	5,0
НСР ₀₅	2,4	1,2	0,3	0,02	
Дубовская Юбилейная					
ПГ-12	69,2	1,1	5,9	1,1	4,7
ПГ 17-16	41,1	1,3	5,2	0,0	4,6
ПГ-2	46,7	1,2	7,4	0,1	4,2
ВА 29 (к)	32,3	0,8	4,3	0,2	5,0
Айва С	45,7	1,3	6,1	0,3	4,0
НСР ₀₅	2,4	1,1	0,2	0,03	
Памяти Корнеева					
ПГ-12	59,2	1,3	4,3	1,0	3,7
ПГ 17-16	43,1	1,1	4,2	0,0	4,5
ПГ-2	48,7	1,0	6,4	0,0	4,7
ВА 29 (к)	35,0	1,4	3,6	0,0	4,2
Айва С	44,5	1,5	5,1	0,3	4,5
НСР ₀₅	2,3	1,1	0,3	0,01	
Зимняя кубаревидная					
ПГ-12	71,2	1,2	4,4	0,4	5,0
ПГ 17-16	50,1	1,3	3,2	0,1	5,0
ПГ-2	49,4	1,0	5,3	0,0	5,0
ВА 29 (к)	34,1	1,1	3,4	0,0	5,0
Айва С	49,5	1,4	6,1	0,0	5,0
НСР ₀₅	2,3	1,1	0,2	0,01	
Зимняя Млиевская					
ПГ-12	57,0	1,2	3,7	0,0	5,0
ПГ 17-16	43,2	1,5	3,5	0,0	5,0
ПГ-2	48,9	1,6	5,1	0,0	5,0
ВА 29 (к)	33,0	1,3	3,2	0,0	5,0
Айва С	45,4	1,4	5,0	0,3	5,0
НСР ₀₅	2,2	1,0	0,2	0,03	

Кроме высоты дерева и окружности штамба степень развития молодых деревьев характеризует побегообразовательная способность и величина прироста однолетних побегов [9–12].

Среди всех комбинаций, находящихся в изучении, наибольшее количество ветвей I порядка образовалось у летнего сорта Молдавская ранняя 10,3 шт. в комбинации с подвоем Айва С. Несущественные различия были на подвое ПГ-17-16 при $HCP_{05} = 0,3$ шт., что на 9,0 шт. больше, чем на контроле на таком же подвое. У сорта Молдавская ранняя на всех подвоях количество ветвей I порядка было самым высоким (6,8–10,3 шт.). Менее разветвленными были комбинации сортов груш с подвоями ВА 29 (к) – от 3,2–5,8 шт., ПГ-17-16 – от 3,5–5,2 шт. Количество ветвей второго порядка в текущем году в основном не образовалось ни на одной комбинации.

Важным показателем адаптации деревьев к окружающим условиям является сила роста однолетних побегов [13–15]. Она характеризует общее состояние деревьев. Максимальный рост однолетних побегов, достигших 17,5 см в комбинации с подвоем Айва С и 17,3 см с подвоем ПГ-2 за весь период вегетации, был отмечен у сорта Зимняя кубовевидная. У сорта Зимняя Млиевская также были достаточно хорошие показатели, а именно в комбинации с подвоем ПГ-2 рост однолетних побегов достигал 18,6 см, что превысило контроль (ВА-29) на этом же сорте на 3,3 см. На подвое ПГ-12 (Красивая, Надежда, Молдавская ранняя) были также зафиксированы неплохие результаты роста однолетних побегов от 13,2 до 15,0 см относительно контроля ВА-29 (7,1–9,7 см) на этих же сортах, превысив его в среднем на 18,6 см (рисунок). Большинство изучаемых комбинаций характеризовались средними приростами однолетних побегов, которые варьировали в пределах 7,0–10,4 см на подвое ПГ-17-16; от 8,4 до 10,2 см на подвое ПГ-12; от 5,1 до 11,4 см – на подвое ВА-19; на ПГ-2 – от 6,6 до 13,4 см.



Динамика роста однолетних побегов, см, среднее 2023–2025 гг.

Dynamics of growth of annual shoots, cm, average 2023–2025.

При закладке интенсивного сада груши для оптимальных конструкций кроны в аридных условиях Северного Прикаспия изучались различные виды формировки кроны: разреженно-ярусная (контроль), чашевидная и модифицированное стройное веретено. Объектами исследования были выбраны наиболее выделившиеся сорта на подвое ПГ-12 – Зимняя кубовевидная, Тихий Дон и Банкетная.

Активной силой роста характеризовался сорт Зимняя кубовевидная в комбинации с подвоем ПГ-12 при типе формировки «чашевидная» – 1,4 м, прирост высоты деревьев по отношению к контролю составил +17,0 % (табл. 3).

Параметры роста сортов груши в зависимости от типа формирования кроны на подвое ПГ-12, среднее 2023–2025 гг.
Growth parameters of pear varieties depending on crown formation type on PG-12 rootstock, average for 2023–2025

Сорт	Тип формирования кроны	Прирост высоты		Прирост штамба		Площадь проекции кроны		Средняя длина прироста побегов	
		м	± к контролю, %	см	± к контролю, %	м²	± к контролю, %	см	± к контролю, %
Зимняя куборевидная	Разреженно-ярусная (к)	1,2	–	3,0	–	1,3	–	46,6	–
	Чашевидная	1,4	+17,0	4,7	+56,6	2,3	+76,9	58,4	+25,3
	Модифицированное стройное веретено	1,3	+8,3	4,3	+43,3	1,8	+38,4	62,5	+34,1
Тихий Дон	Разреженно-ярусная (к)	0,8	–	3,9	–	1,2	–	33,2	–
	Чашевидная	1,2	+50,0	4,3	+10,3	2,2	+83,3	57,1	+71,9
	Модифицированное стройное веретено	1,1	+37,5	4,8	+23,1	1,9	+58,3	44,7	+34,6
Банкетная	Разреженно-ярусная (к)	1,1	–	4,5	–	1,4	–	31,6	–
	Чашевидная	0,9	-18,1	5,1	+13,3	1,7	+21,4	54,7	+73,1
	Модифицированное стройное веретено	1,1	0,0	4,3	- 4,4	1,6	+14,2	49,6	+56,9

На формировке «модифицированное стройное веретено» сила роста деревьев была 1,3 м, и прирост высоты составил +8,3 % к контролю. На сортах Тихий Дон и Банкетная в комбинации с подвоем ПГ-12 прирост высоты на всех типах формирования кроны находился в диапазоне 0,8–1,2 м. В комбинации сорта Банкетная с подвоем ПГ-12 на «чашевидном» типе формировке кроны показатель прироста высоты был ниже по отношению к контролю и составил -18,1 %.

По приросту окружности штамба, по сравнению с контрольным типом формирования «разреженно-ярусная», на чашевидной формировке показатели были выше на сортах Зимняя куборевидная 4,7 см (прирост + 56,6 %) и Банкетная 5,1 см (прирост +13,3 %) (см. табл. 3). Достаточно хорошие показатели по приросту окружности штамба были на сорте Тихий Дон по отношению к контролю (разреженно-ярусная – 3,9 см) на чашевидной формировке составили 4,3 см с приростом +10,3 %. А также на этом же сорте на типе кроны «модифицированное стройное веретено» прирост штамба на 23,1 % (4,8 см) выше, чем на контрольной формировке. Минимальные значения прироста штамба были зафиксированы на сорте Банкетная на типе кроны «модифицированное стройное веретено» 4,3 см (по отношению к контролю – 4,4 %).

Максимальные расчетные показатели площади проекции кроны отмечены у сортов Зимняя куборевидная (2,3 м²) и Тихий Дон (2,2 м²) на варианте типа кроны «чашевидная». Более компактный размер чашевидной кроны был отмечен на сорте Банкетная, где площадь проекции кроны равна 1,7 м².

Максимальная длина прироста побегов зафиксирована на типе формирования кроны «модифицированное стройное веретено» у сорта Зимняя куборевидная – 62,5 см, что составляет 34,1 % прибавки к контролю (см. табл. 3). А также на чашевидной формировке на этом же сорте 58,4 см, где прибавка к контролю равна 25,3 %. У сортов Тихий Дон и Банкетная на чашевидной кроне также отмечены высокие показатели длины прироста побегов: 57,1 и 54,7 см соответственно.

ВЫВОДЫ

1. Полученные данные свидетельствуют, что интенсивным ростом характеризовались комбинации сорта Красивая (к) с подвоем ПГ-2 – 51,2 см, Надежда – 41,6 см на подвое Айва С; Молдавская ранняя – 44,6 см, Зимняя Млиевская – 71,2 см с подвоем ПГ-12.

2. По приросту окружности штамба наилучшие значения были зафиксированы на комбинации сорта Молдавская ранняя и подвоя ПГ-12 – 2,2 см и на подвое ВА-29 (к) – 1,8 см на сорте Молдавская ранняя. Наибольшее количество ветвей I порядка образовалось у летнего сорта Молдавская ранняя 10,3 шт. на подвое ПГ-17-16. Максимальный рост однолетних побегов – 17,5 см на подвое Айва С и 17,3 см на подвое ПГ-2 был в комбинации с сортом Зимняя куборевидная. У сорта Зимняя Млиевская также были хорошие показатели роста однолетних побегов в комбинации с подвоем ПГ-2, они достигали 18,6 см.

3. Первые годы исследований показали, что применение для груши способа формирования «чашевидная» на полукарликовом подвое ПГ-12 дает лучшие результаты для активной побегообразовательной способности растений, где суммарный прирост побегов составил 58,4 см на каждое растение.

Исследование выполнено в рамках реализации государственного задания ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (тема № FNMW-2022-0009 «Изучить влияние элементов технологий на хозяйственно-биологические параметры интродуцированных сортов, подвоев семечковых и косточковых культур, ореха и винограда в аридных условиях Северного Прикаспия»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Причко Т.Г. Эффективность производства плодовой продукции и направления ее повышения // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства и виноделия. – 2018. – Т. 17. – С. 32–38.
2. Адаптивный потенциал видов и сортов груши в предгорьях Северного Кавказа / И.А. Бандурко, Л.Г. Семенова, А.А. Кагазежева, Л.С. Вавилова // Новые сорта и технологии возделывания плодовых и ягодных культур для садов интенсивного типа: тез. докл и выступл. на междунар. науч.-метод. конф. – Орел, 2000. – С. 22–23.
3. Оценка генофондовой коллекции груши по основным хозяйственно-биологическим признакам в условиях Крыма / Р.Д. Бабина, В.Л. Баскакова, П.Г. Хоружий [и др.] // Пути повышения эффективности садоводства: сб. науч. тр. ГНБС. – 2017. – Т. 1, ч. 2. – С. 5–12.
4. Парахин Н.В. Современное садоводство России и перспективы развития отрасли // Современное садоводство. – 2013. – № 2. – С. 114–122.
5. Сотник А.И., Танкевич В.В. Влияние подвоев на биохимические и технологические характеристики сортов яблони в Крыму // Плодоводство и ягодоводство России: сб. науч. тр. – М., 2018. – Т. 53. – С. 82–88.
6. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под общ. ред. акад. РАСХН Е.Н. Седова, д-ра с.-х. наук Т.П. Огольцовой. – Орел, 1999. – С. 46–47.
7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. завед. по аграрн. спец. – М., 1985. – 351 с.
8. Сотник А.И., Танкевич В.В. Оценка адаптационного потенциала сорто-подвойных сочетаний груши (*Pyrus cotinifolia* L.) в условиях Крыма // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4(67). – С. 245–249.
9. Матвеева Н.И. Физиологические особенности сортов груши в аридных условиях Астраханской области // Аграрный научный журнал. – 2025. – № 11. – С. 34–39.
10. Матвеева Н.И. Комплексная оценка хозяйственно ценных показателей сортов груши в условиях Северного Прикаспия // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3(76). – С. 127–136.
11. Иваненко Е.Н., Попова Л.В. Адаптивные клоновые подвои для интенсивного возделывания яблони в аридных условиях // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, пути решения: материалы науч.-практ. конф. молод. ученых. – Махачкала, 2013. – С. 108–112.
12. Сергеев Д.В. Совершенствование технологии выращивания посадочного материала груши с использованием новых клоновых подвоев рода *Pyrus*: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Мичуринск, 2017. – 22 с.
13. Менишутина Т.В., Костенко М.Г. Изучение новых перспективных сортов яблони для интенсивного садоводства Астраханской области // Современные исследования: теория, практика, результаты: сб. мат-в XIII Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2025. – С. 179–184. – DOI: 10.26118/3186.2025.26.66.030.

14. Причко Т.Г., Оплачко Р.А., Гутков И.В. Влияние сорто-подвойных комбинаций на урожайность и качество плодов яблони отечественной селекции // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2025. – № 96(6). – С. 68–82. – DOI: 10.30679/2219-5335-2025-6-96-68-82.
15. Бандурко И.А., Дагузжиева З.Ш., Георгадзе Н.С. Особенности цветения сортов и видов груши в различных условиях Юга России // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2025. – № 94(4). – С. 32–41. – DOI: 10.30679/2219-5335-2025-4-94-32-41.

REFERENCES

1. Prichko T.G., *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo centra sadovodstva, vinogradorstva i vinodeliya*, 2018, Vol. 17, pp. 32–38. (In Russ.)
2. Bandurko I.A., Semenova L.G., Kagazezheva A.A., Vavilova L.S., *Novye sorta i tekhnologii vozdel'yvaniya plodovykh i yagodnykh kul'tur dlya sadov intensivnogo tipa* (New varieties and technologies for cultivating fruit and berry crops for intensive orchards), Abstracts of reports, Orel, 2000, pp. 22–23. (In Russ.)
3. Babina R.D., Baskakova V.L., Khoruzhy P.G., Kovalenko L.V., Grishaneva L.Yu., *Puti povysheniya effektivnosti sadovodstva* (Ways to improve the efficiency of horticulture), Collection of scientific papers of the State Scientific Botanical Garden, 2017, Vol. 1, Part 2, pp. 5–12. (In Russ.)
4. Parakhin N.V., *Modern horticulture*, 2013, No. 2, pp. 1–9. (In Russ.)
5. Sotnik A.I., Tankevich V.V., *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* (Fruit and berry growing in Russia), Collection of scientific papers, Moscow, 2018, Vol. 53, pp. 82–88. (In Russ.)
6. *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur* (Program and methods for variety study of fruit, berry, and nut crops), Orel, 1999, pp. 46–47. (In Russ.)
7. Dospikhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow, 1985, 351 p.
8. Sotnik A.I., Tankevich V.V., *Transactions of the Kuban State Agrarian University*, 2017, No. 4(67), pp. 245–249. (In Russ.)
9. Matveeva N.I., *Agrarian scientific journal*, 2025, No. 11, pp. 34–39. (In Russ.)
10. Matveeva N.I., *Bulletin of the Novosibirsk State Agrarian University*, 2025, No. 3(76), pp. 127–136. (In Russ.)
11. Ivanenko E.N., Popova L.V., *Agropromyshlennyy kompleks: sostoyaniye, problemy, puti resheniya* (Agro-industrial complex: status, problems, solutions), Materials of the scientific and practical conference of young scientists, Makhachkala, 2013, pp. 108–112 p. (In Russ.)
12. Sergeev D.V., *Sovershenstvovanie tekhnologii vyrashchivaniya posadochnogo materiala grushi s ispol'zovaniem novykh klonovykh podvov roda Pyrus* (Improving the technology of growing pear planting material using new clonal rootstocks of the genus Pyrus), Abstract of Cand. Sci. (Eng.) dissertation, Michurinsk, 2017, 22 p.
13. Menshutina T.V., Kostenko M.G., *Sovremennyye issledovaniya: teoriya, praktika, rezul'taty* (Modern research: theory, practice, results), Collection of materials from the XIII International scientific and practical conference, Moscow, 2025, pp. 179–184, DOI: 10.26118/3186.2025.26.66.030. (In Russ.)
14. Prichko T.G., Oplachko R.A., Gutov I.V., *Fruit growing and viticulture of the South of Russia*, 2025, No. 96(6), pp. 68–82, DOI: 10.30679/2219-5335-2025-6-96-68-82. (In Russ.)
15. Bandurko I.A., Daguzhieva Z.Sh., Georgadze N.S., *Fruit growing and viticulture of the South of Russia*, 2025, No. 94(4), pp. 32–41, DOI: 10.30679/2219-5335-2025-4-94-32-41. (In Russ.)

Сведения об авторе:

Н.И. Матвеева, кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник отдела плодово-ягодных культур

Contribution of the author:

N.I. Matveeva, Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Researcher, Department of Fruit and Berry Crops

ПРОДУКТИВНОСТЬ РАЗНЫХ ПОКРОВНЫХ КУЛЬТУР И МНОГОЛЕТНИХ ТРАВОСМЕСЕЙ ПРИ РАЗНЫХ СРОКАХ СЕВА В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В.А. Петрук, А.О. Вотяков

Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, Новосибирск, Россия

E-mail: medicago@mail.ru

Для цитирования: Петрук В.А., Вотяков А.О. Продуктивность разных покровных культур и многолетних травосмесей при разных сроках сева в лесостепной зоне Западной Сибири // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 37–46. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-37-46.

Реферат. В лесостепи Западной Сибири проведены исследования по изучению продуктивности бобово-злаковых травосмесей многолетних трав под разными покровными культурами: ячменем и зернобобовой травосмесью – овес, ячмень, пшеница, горох, вика (опыт № 1). Травосмесь разработана и внедрена в учебно-опытном хозяйстве «Тулинское». Изучаемые покровные культуры использовались для производства зерносенажа. Структурные показатели стеблестоя ячменя и зернобобовой травосмеси существенно отличались. Так, по результатам двух закладок в 2007 и 2008 гг. густота стеблестоя ячменя – от 189 до 201 шт./м². Густота стеблестоя злаков в злаково-бобовой травосмеси составила более 300 шт./м². Злаковые травы в травосмесях были выше по сравнению с ячменем одновидового посева. Высота ячменя на варианте, где подпокровной травосмесью была галега с кострцом, составила 60 см, в зерносмеси – 80 см. Примерно такая же разница отмечена и на других вариантах. Более плотный и высокий травостой зернобобовой травосмеси по сравнению с ячменем объясняет более высокий урожай зернобобовой травосмеси. Соответственно 3,52 и 2,0 т/га абсолютно сухого вещества. Однако более плотный и высокий травостой зерносмеси действовал угнетающе на злаково-бобовую травосмесь подпокровных многолетних трав. Это сказалось на урожайности многолетних травосмесей в последующие годы их жизни. В среднем по двум закладкам 2007 и 2008 гг. урожайность под покровом зерносмеси был достоверно ниже, чем под покровом ячменя. Урожайность травосмеси люцерны + кострец под покровной культурой ячмень составила 4,42, под зерносмесью 3,91 т/га абсолютно сухого вещества. Незначительная разница и в других травосмесях. По данным следующего опыта (опыт № 2), в котором изучали продуктивность многолетних травосмесей под покровной культурой ячмень в среднем по закладкам 2017 и 2018 гг. при весеннем и летнем сроках посева, продуктивность покровной культуры была выше при весеннем посеве. Продуктивность многолетних трав в последующие годы примерно одинакова при весеннем и летнем посевах.

Ключевые слова: покровные культуры, многолетние травы, густота стеблестоя, сроки посева, высота растений, продуктивность.

PRODUCTIVITY OF COVER CROPS AND PERENNIAL GRASS MIXTURES AT DIFFERENT SOWING TIMES IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF WESTERN SIBERIA

V.A. Petruk, A.O. Votyakov

Siberian State University of Engineering and Biotechnology, Novosibirsk, Russia

E-mail: medicago@mail.ru

Abstract. In the forest-steppe of Western Siberia, studies were conducted on the productivity of legume-grass mixtures of perennial grasses under different cover crops—barley and a grain legume mixture (oats, barley, wheat, peas, and vetch) (experiment No. 1). The grass mixture was developed and implemented at the educational farm of NSAU “Tulinskoye.” The studied cover crops were used for the production of grain silage. The structural characteristics of the barley stand and the grain legume mixture differed significantly. According to the results from two trials in 2007 and 2008, the density of the barley stand ranged from 189 to 201 plants/m². The density of the grasses in the grass-legume mixture was over 300 plants/m². Grass species in the mixtures were taller compared to barley in monoculture. For instance, the height of barley in the variant where the cover crop mixture included galega and costrzec was 60 cm, while in the grain mixture it was 80 cm. A similar difference was noted in other variants. The denser and taller stand of the grain legume mixture compared to barley accounts for the higher yield of the grain legume mixture, with values of 3.52 and 2.0 t/ha of absolute dry matter, respectively. However, the denser and taller stand of the grain mixture had a suppressive effect on the grass-legume mixtures of the cover

crops. This had an impact on the yield of the perennial grass mixtures in the following years of their growth. Thus, on average, across the two trials in 2007 and 2008, the yield under the cover of the grain mixture was significantly lower than under the cover of barley. For instance, the yield of the alfalfa +bromus inermis mixture under barley as the cover crop was 4.42 t/ha of absolute dry matter, while under the grain mixture it was 3.91 t/ha. A slight difference was also observed in other grass mixtures. According to the data from the next experiment (experiment No. 2), where the productivity of perennial grass mixtures was studied under barley as the cover crop, the average results from the trials in 2017 and 2018 indicated that the productivity of the cover crop was higher with spring sowing. The productivity of perennial grasses in subsequent years is approximately the same with spring and summer sowing.

Keywords: cover crops, perennial grasses, stand density, sowing time, plant height, productivity.

Многолетние травы как сельскохозяйственные растения обладают ценными хозяйственно полезными признаками. Это прежде всего универсальный источник сырья для производства грубых, сочных, искусственно обезвоженных кормов. Особенно ценны бобово-злаковые смеси многолетних трав. Травосмеси более урожайны по сравнению с одновидовыми травостоями, больше пригодны для получения качественного сена, создания продуктивных пастбищ, лучше поедаются скотом. В травосмесях растения лучше используют питательные вещества, воду, свет.

Такие травы, как люцерна и костреч играют ключевую роль в рационах крупного рогатого скота, позволяя достигать удоев мирового уровня. Поэтому одновидовые посевы этих трав, а также их смеси возделывают в большинстве регионов мира в пашне и на естественных кормовых угодьях [1–3]. Многолетние травы являются хорошими предшественниками в севооборотах. Бобовые травы, а также бобово-злаковые смеси благодаря симбиотической азотфиксации накапливают в почве более 200 кг биологического азота, 60–100 кг фосфора, 80–100 кг калия, что равноценно внесению 40–60 т/га навоза [4]. К настоящему времени технология возделывания многолетних трав в основном изучена в нашей стране. Несмотря на это отдельные вопросы остаются, исследования продолжаются. Большая научно-исследовательская работа по совершенствованию технологии возделывания многолетних травосмесей, изучению качества кормов проведена в Новосибирской, Нижегородской, Московской областях, в условиях северо-запада РФ, Удмуртии [5–16].

Учитывая, что многолетние травы не обеспечивают полноценный урожай надземной массы в первый год жизни, их целесообразно высевать вместе с покровными культурами. В Сибири лучшими покровными культурами считаются ячмень, суданка, просо. При посеве многолетних трав вместе с покровными культурами урожайность в год посева обеспечивает в основном покровная культура. Кроме того, покровные культуры снижают засоренность посевов, влияние засухи на многолетние травы. Однако малоизученными остаются виды покровных культур, уточнения требуют сроки посева многолетних трав на корм. Учитывая результаты предшествующих исследований о том, что лучшей покровной культурой для многолетних трав является ячмень [17], нами было решено изучить влияние ячменя, а также многокомпонентной бобово-злаковой зерносмеси на последующую продуктивность многолетних трав. Эта зерносмесь довольно широко распространена в Сибири для заготовки зерносенажа. Убирается смесь относительно рано (вторая половина августа), давая тем самым возможность многолетним травам полноценно развиваться, накапливать питательные вещества для успешной перезимовки [18]. Ячмень убирается в это же время на зерносенаж. Травостой зерносмеси в этот период содержит в своем составе полужелтые семена ячменя и бобовых культур, что обеспечивает питательность корма. При этом урожайность зерносмеси как покровной культуры значительно выше урожайности ячменя. Кроме того, интересно изучить продуктивность покровной культуры и многолетних травосмесей при весеннем и летнем сроках посева. Известно, что при летнем сроке посева благодаря климатическим факторам растения развиваются более интенсивно, чем при посеве весной.

Цель исследований – изучение продуктивности покровных культур, их влияние на последующую продуктивность многолетних бобово-злаковых травосмесей, а также изучение продуктивности покровной культуры и многолетних травосмесей при разных сроках посева.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Закладка первого опыта (№ 1) проведена в начале июня 2007 г., повторная – в конце мая 2008 г. в учхозе Новосибирского государственного аграрного университета, в лесостепной зоне Западной Сибири на выщелоченном черноземе. Исследования проводили по 2016 г. Содержание гумуса в пахотном слое опытного участка 3,5 %, обменного калия и фосфора – высокое и очень высокое.

Минеральные удобрения вносили под весеннее боронование. Норма удобрений взята согласно рекомендациям агротехнологий производства кормов в Сибири $N_{30}P_{40}K_{50}$ [17]. Площадь опытной делянки 20 м². Размещение опытных и контрольных делянок – рендомизированное. Ширина междурядий при посеве многолетних трав 30 см.

Опыт № 1. Продуктивность многолетних травосмесей сенокосного использования при разных покровных культурах

Схема опыта

Фактор А (многолетние травы в травосмесях).

1. Галега восточная + кострец безостый (контроль).

2. Галега восточная + тимopheевка луговая.

3. Люцерна изменчивая + кострец безостый.

Люцерна изменчивая + тимopheевка луговая.

Клевер луговой + кострец безостый.

Клевер луговой + тимopheевка луговая.

Фактор Б (покровная культура).

1. Ячмень.

2. Зерносмесь (овес, ячмень, пшеница, горох, вика яровая).

В опыте использовали следующие сорта трав: козлятник Горноалтайский 87, клевер СибНИИК 10, люцерна Омская 8893, тимopheевка Новосибирская 4179, кострец Антей. Сорта зернобобовых культур для зерносмеси покровной культуры – ячмень Ача, овес Орион, пшеница Новосибирская 29, горох Норд. При посеве нормы высевы покровных культур зерносмеси 250 кг/га и ячменя 180 кг/га были снижены на 20 % [17]. Все сорта районированы в регионе. Методика закладки опыта, статистическая обработка полученных данных общеприняты [18].

В 2017 и повторно в 2018 гг. был заложен опыт № 2 по изучению влияния весеннего (в третьей декаде мая) и летнего (в середине июля) сроков посева на структурные показатели травостоя покровной культуры и многолетних трав, а также их продуктивность. Уборку проводили в третьей декаде августа. Покровные культуры: ячмень сорта Ача, клевер СибНИИК 10, люцерна Омская 8893, кострец Антей. Многолетние травосмеси: люцерна + кострец, клевер + кострец.

Опыт № 2. Влияние сроков посева на продуктивность бобово-злаковых травосмесей многолетних трав.

Схема опыта

Фактор А (травосмеси).

Люцерна + кострец.

Клевер + кострец.

Фактор Б (сроки посева).

1. Посев весной (3-я декада мая).

2. Посев летом (середина июля).

Покровная культура и многолетние травы определены как наиболее распространенные перспективные для дальнейших исследований. Площадь опытной делянки 20 м². Размещение опытных и контрольных делянок – рендомизированное. Ширина междурядий при посеве многолетних трав 30 см. Методика проведения опыта общепринята [18]. Исследования проводили с 2017 по 2020 г. в двух закладках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

За время проведения исследований, начиная с 2007 по 2012 гг. погодные условия вегетационных периодов существенно отличались. Вегетационный период 2007 г. следует характеризовать как теплый и влажный. Среднемесячная температура воздуха и количество осадков было выше сред-

немноголетней нормы. Лето 2008 г. было теплым и относительно сухим. Вегетационные периоды с 2009 по 2012 гг. можно характеризовать как засушливые, обеспеченность в них теплом была выше среднемноголетней нормы.

С 2017 по 2020 гг. проводили опыт по изучению влияния сроков посева на покровную культуру (ячмень) и многолетних травосмесей. Погодные условия в 2017 г. были благоприятными для произрастания покровной культуры и многолетних трав. Теплая погода сопровождалась достаточным количеством осадков. Вегетационные периоды 2018 и 2019 гг. были относительно прохладными. Среднемесячные температуры воздуха были ниже среднемноголетних показателей. Осадки выпадали неравномерно. Завершающий год исследований 2020 г. оказался достаточно теплым, количество осадков в 1,5–2 раза превышало норму.

Погодные условия сказывались на урожайности трав. Во влажные и теплые вегетационные периоды урожайность многолетних травосмесей была выше.

Анализ структурных показателей травостоя дает возможность объяснить величину урожайности изучаемой культуры или травосмеси. Рассмотрим густоту стеблестоя и высоту растений разных покровных культур – ячменя и зерносмеси.

Так, плотность стеблестоя ячменя, где подпокровной культурой была травосмесь галега + кострец, составила $208 \pm 2,50$ шт./м². Плотность злаковых трав в зерносмеси $305 \pm 13,60$ шт./м², бобовых – $32 \pm 2,34$ шт./м². Следовательно, суммарная густота стеблестоя зерносмеси составила 337 против 208 шт./м² у ячменя (табл. 1).

Таблица 1

Структурные показатели покровных культур травосмесей многолетних трав
(среднее по закладкам 2007 и 2008 гг.)
Structural indicators of cover crops of perennial grass mixtures (average for the 2007 and 2008 plantings)

Травосмесь	Ячмень		Зерносмесь			
			Злаковые (ячмень)		Бобовые (вика)	
	Густота стеблестоя, шт./м ²	Высота растений, см	Густота стеблестоя, шт./м ²	Высота растений, см	Густота стеблестоя, шт./м ²	Высота растений, см
Галега + кострец (контроль)	$208 \pm 2,50$	$60 \pm 1,5$	$305 \pm 13,6$	$80 \pm 2,21$	$32 \pm 2,34$	$51 \pm 1,65$
Галега + тимopheевка	$196 \pm 4,3$	$68 \pm 3,12$	$312 \pm 15,51$	$77 \pm 1,21$	$36 \pm 5,21$	$59 \pm 3,21$
Люцерна + кострец	$216 \pm 5,12$	$62 \pm 4,10$	$287 \pm 12,12$	$75 \pm 2,31$	$49 \pm 1,12$	$52 \pm 1,32$
Люцерна + тимopheевка	$189 \pm 2,50$	$63 \pm 2,11$	$298 \pm 11,82$	$78 \pm 2,21$	$51 \pm 1,32$	$44 \pm 2,02$
Клевер + кострец	$195 \pm 1,15$	$61 \pm 4,35$	$301 \pm 14,25$	$87 \pm 1,15$	$74 \pm 1,32$	$45 \pm 2,15$
Клевер + тимopheевка	$201 \pm 1,12$	$65 \pm 2,15$	$296 \pm 15,18$	$90 \pm 3,21$	$78 \pm 3,25$	$46 \pm 3,65$

Высота растений ячменя как покровной культуры в одновидовом посеве достоверно ниже, чем ячменя в зерносмеси. Так, высота растений ячменя на вариантах, где подпокровными культурами являются галега + кострец, составила $60 \pm 1,5$ см, в зерносмеси – $80 \pm 2,21$ см. На вариантах, где подпокровными культурами была травосмесь люцерна + кострец, высота покровной культуры ячмень – $62 \pm 4,10$, высота ячменя в зерносмеси – $75 \pm 2,31$ см. Показатели структуры травостоя обуславливают и более высокую продуктивность зерносмеси. Разница достоверна. Урожайность сухого вещества ячменя составила 2,0, зерносмеси – 3,52 т/га абсолютно сухого вещества. Значительно выше содержание кормовых единиц и обменной энергии (табл. 2). Учитывая, что зерносмесь достигает сенажной спелости в середине августа, после ее уборки освобождается ниша для последующего развития многолетних трав.

Таблица 2

Продуктивность покровных культур травосмесей (среднее по закладкам 2007 и 2008 гг.)
Productivity of cover crops of grass mixtures (average for 2007 and 2008 plantings)

Покровная культура	Травосмеси многолетних трав		
	Кол-во сух. в-ва, т/га	Кол-во, тыс. к. ед/га	Кол-во, ГДж/га
Ячмень	2,0	1,05	13,82
Зерносмесь	3,52	1,71	24,12
НСР ₀₅	0,51	0,43	4,75

Учитывая, что структурные показатели травостоя играют решающую роль при формировании урожайности надземной массы, проследим густоту стеблестоя и высоту травосмесей в среднем по закладкам 2007 и 2008 гг.

Проанализируем отдельно плотность злаковых и бобовых многолетних трав в среднем по закладкам 2007 и 2008 гг. Так, густота стеблестоя злаков первого укоса злаково-бобовой травосмеси галега + костреца под покровной культурой ячмень составила 88, во втором укосе – 77 шт./м². Плотность стеблестоя злаков этой же травосмеси под покровной культурой зерносмесь в первом и втором укосе соответственно 74 и 114 шт./м². В травосмеси люцерна + костреца под покровом ячменя густота стеблестоя первого укоса 150, второго укоса – 80 шт./м². Под покровом бобово-злаковой зерносмеси соответственно 92 и 69 шт./м². Густота стеблестоя костреца в клеверокострецово-й травосмеси под покровом ячменя в первом и втором укосе соответственно 73 и 69 шт./м². Под покровом зерносмеси – 71 и 58 шт./м². Плотность стеблестоя бобовых трав в этих же травосмесях в первом укосе выше, как и костреца в проанализированных нами травосмесях. Так, густота бобовых компонентов под покровной культурой ячмень в первом укосе травосмеси галега + костреца в первом и втором укосах составила соответственно 87 и 76 шт./м². Под бобово-злаковой зерносмесью – 84 и 52 шт./м². Плотность стеблестоя в люцерно-кострецово-й травосмеси под покровной культурой ячмень 94 и 108 шт./м², под покровом зерносмеси – соответственно 123 и 119 шт./м². В клеверокострецово-й травосмеси соответственно под ячменем 70 и 47, а также 68 и 71 шт./м² (табл. 3).

Таблица 3

Структурные показатели многолетних травосмесей при разных покровных культурах
(среднее по закладкам 2007 и 2008 гг.)
Structural indicators of perennial grass mixtures with different cover crops
(average for 2007 and 2008 plantings)

Травосмеси (фактор А)	Покровные культуры (фактор Б)							
	Ячмень		Зернобобовые		Ячмень		Зернобобовые	
	Густота стеблестоя, шт./м²				Высота растений, см			
	Злаки	Бобовые	Злаки	Бобовые	Злаки	Бобовые	Злаки	Бобовые
1. Галега + кострец (контроль)	88/77	87/76	74/114	84/52	83/19	81/71	78/20	79/75
2. Галега + тимофеевка	82/76	97/88	85/66	82/76	60/31	75/66	60/35	73/63
3. Люцерна + кострец	150/80	94/108	92/69	123/119	82/28	51/23	51/30	51/22
4. Люцерна + тимофеевка	84/53	111/112	85/74	117/92	66/23	60/19	62/23	53/22
5. Клевер + кострец	73/69	70/47	71/58	68/71	41/22	48/18	83/22	46/14
6. Клевер + тимофеевка	71/56	73/69	76/71	87/64	46/21	47/22	55/18	45/20

Примечание. В числителе указан первый укос, в знаменателе – второй укос.

Следовательно, на густоту стеблестоя злаковых многолетних трав оказала влияние покровная культура. Травосмеси, произрастающие под зерносмесью в качестве покровной культуры, в большинстве случаев менее плотные по сравнению с травосмесями, произрастающими под ячменем. Причем это касается растений первого и второго укосов. У бобовых компонентов такая тенденция проявляется только у растений первого укоса, что можно объяснить интенсивным ветвлением отавы бобовых трав после укоса.

Высота злаково-бобовых компонентов многолетних трав почти не зависела от покровной культуры. Так, под покровной культурой ячмень высота растений костреца основного укоса в травосмеси галега + кострец составила 83 см, высота растений галеги – 81 см. Подобную тенденцию можно отметить и на других травосмесях. Самая высокая урожайность была в травосмеси галега + кострец – 4,6 т/га (табл. 4). Содержание кормовых единиц и обменной энергии в смеси галега + кострец, где покровной культурой был ячмень, также было максимальным из всех изучаемых вариантов и составило соответственно 3,53 тыс. кормовых единиц, или 41,42 ГДж/га обменной энергии на гектар. Самая низкая урожайность сухого вещества многолетних травосмесей отмечена в клеверно-тимофеечной травосмеси 3,11 т/га под ячменем и 2,68 т/га под бобово-злаковой зерносмесью. Содержание при этом на варианте, где покровной культурой был ячмень, составило: кормовых единиц 2,18 тыс. на гектар, количество обменной энергии – 26,48 ГДж/га. Эти же показатели, но под покровной культурой зерносмесь соответственно 1,7 тыс. кормовых единиц и 26 ГДж/га. Невысокую урожайность можно объяснить тем, что на третий год жизни клевер фактически выпадал из травостоя. Урожайность формировалась за счет злакового компонента. Травостой стал менее плотным, урожайность снижалась.

В опыте № 2 изучали влияние разных сроков посева на структурные показатели травостоя покровной культуры, а в последующем многолетних трав и их урожайность. Густота стеблестоя растений ячменя варьировала от 219 до 226 шт./м². Высота растений ячменя при весеннем посеве составила 77 и 78 см, при летнем посеве – 48–50 см. Продуктивность покровной культуры при разных сроках посева отличалась. Урожайность ячменя весеннего срока посева была выше по сравнению с урожайностью летнего срока посева. Так, урожайность надземной массы ячменя достигала 4,3 т/га сухого вещества. При летнем сроке посева – 3 т/га сухого вещества. Меньшая урожайность покровной культуры летнего посева объясняется более коротким сроком развития от посева до уборки по сравнению с растениями, посеянными весной.

Таблица 4

**Продуктивность многолетних травосмесей при разных покровных культурах
(среднее по закладкам 2007 и 2008 гг.)**
Productivity of perennial grass mixtures with different cover crops (average for 2007 and 2008)

Травосмесь (фактор А)	Покровная культура (фактор Б)					
	Ячмень			Зерносмесь		
	сухое в-во, т/га	тыс. корм. ед./га	энергопро- дукт, ГДж/га	сухое в-во, т/га	тыс. корм. ед./га	энергопро- дукт, ГДж/га
1. Галега + кострец (контроль)	4,60	3,53	41,42	4,25	3,34	38,29
2. Галега + тимopheевка	3,89	2,48	31,03	3,44	2,20	27,47
3. Люцерна + кострец	4,42	2,26	31,21	3,91	1,99	26,72
4. Люцерна + тимopheевка	4,09	2,62	33,18	3,87	2,47	31,40
5. Клевер + кострец	3,29	2,20	27,09	3,14	2,11	24,25
6. Клевер + тимopheевка	3,11	2,18	26,48	2,68	1,76	22,85

Примечание. НСР₀₅ (сухое вещество) А – 0,14, Б – 0,08, АБ – 0,22; НСР₀₅ (тыс. к. ед.) А – 0,10, Б – 0,10, АБ – 0,14. НСР₀₅ (ГДж) А – 1,68, Б – 0,96, АБ – 2,36.

Высота растений ячменя при весеннем посеве составила 77 и 78 см, при летнем посеве – 48–50 см. Продуктивность покровной культуры при разных сроках посева отличалась. Урожайность ячменя весеннего срока посева была выше по сравнению с урожайностью летнего срока. Так, урожайность надземной массы ячменя достигала 4,3 т/га сухого вещества. При летнем сроке посева – 3 т/га сухого вещества.

Структурные показатели компонентов многолетних травосмесей при весеннем и летнем сроках посева отличались между собой незначительно. Густота стеблестоя люцерны в люцерново-кострецовой травосмеси при весеннем посеве составила 89, костреца – 49 шт./м². Общая густота стеблестоя травосмеси – 138 шт./м². В клеверо-кострецовой смеси соответственно 97 и 35 шт./м², общая густота стеблестоя – 132 шт./м². При летнем сроке посева густота стеблестоя травосмеси была незначительно выше.

Густота стеблестоя костреца ниже по сравнению с бобовыми и составила при весеннем посеве 49, при летнем посеве – 47 шт./м². В клеверо-кострецовой травосмеси соответственно 35 и 61 шт./м². Следовательно, при разных сроках посева кострец развивался гораздо медленнее, чем бобовые компоненты травосмеси.

Многолетние травы при летнем посеве в среднем по опыту были выше на 10–15 см (табл. 5). Растения костреца были выше по сравнению с бобовыми травами, что объясняется морфологическими особенностями. Урожайность многолетних травосмесей при летнем посеве почти не отличалась от их урожайности весной. Урожайность люцерно-кострецовой смеси при весеннем посеве в среднем по закладкам 2017 и 2018 гг. составила 2,7 при летнем посеве – 3,1 т/га абсолютно сухого вещества. В клеверо-кострецовой смеси соответственно 2,5 и 2,6 т/га абсолютно сухого вещества.

Таблица 5

Структурные показатели и урожайность травостоя многолетних трав
(среднее по закладкам 2017 и 2018 гг.)
Structural indicators and yield of perennial grass stand (average for 2017 and 2018 plantings)

Травы А		Срок посева Б					
		весенний			летний		
		Густота стеблестоя, шт./м ²	Высота трав, см	Сух.в-во, т/га	Густота стеблестоя, шт./м ²	Высота трав, см	Сух.в-во, т/га
1.	Люцерна	89	71	2,7	110	68	3,1
	Люцерна + кострец (контроль)	49	87		47	96	
2.	Клевер	97	59	2,5	109	68	2,6
	Клевер + кострец	35	89		61	92	

Примечание. Сухое в-во, га НСР₀₅ А – 0,32 F₀₅ Б > F факт. F₀₅ АБ > F факт.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Густота стеблестоя покровных культур для многолетних трав (ячмень и пятикомпонентная зернобобовая травосмесь) существенно различалась. Плотность стеблестоя ячменя достигала 216 шт./м². В зерносмеси общая густота стеблестоя бобовых и злаковых значительно превышала 300 шт./м². Разницу по плотности стеблестоя можно объяснить разными нормами высева ячменя и травосмеси: 180 и 250 кг/га соответственно. Более плотный стеблестой зернобобовой травосмеси оказал более угнетающее действие на развитие травосмеси многолетних трав в последующие годы. Однако высота злаковых компонентов выше в зерносмеси по сравнению с одновидовым посевом ячменя, что объясняется более благоприятными условиями произрастания в смеси [19]. В результате урожайность абсолютно сухого вещества бобово-злаковой травосмеси (3,52 т/га) выше по сравнению с урожайностью надземной массы ячменя (2 т/га).

Густота стеблестоя многолетних травосмесей в первом и втором укосах отличались. Травостой второго укоса, как правило, менее плотный по сравнению с первым. Особенно разница выражена в люцерно-кострецовой травосмеси, где густота стеблестоя первого укоса 150, второго – 80 шт./м². Снижение плотности второго укоса является естественным следствием биологического цикла развития и менее благоприятными погодными условиями летнего периода по сравнению с весенним. Влияние покровной культуры на густоту стеблестоя многолетних трав в среднем по результатам закладки 2007 и 2008 гг. заметно. Так, густота стеблестоя первого укоса на всех вариантах кроме травосмеси галега + кострец под покровной культурой ячмень выше более чем на 20–30 шт./м². Это говорит о том, что определенное влияние покровной культуры на развитие подпокровных многолетних трав в последующие годы влияет на урожайность.

По высоте компоненты многолетних травосмесей, сеяные под разными покровными культурами, отличались, особенно в первом укосе. Так, высота злаковых трав первого и второго укосов в травосмеси галега + кострец под покровной культурой ячмень составила соответственно 83 и 19 см. Под покровной культурой зерносмесь – 78 и 20 см. Высота бобовых компонентов этой же травосмеси под покровной культурой ячмень в первом и втором укосе 81 и 71 см, под покровной культурой зерносмесь, соответственно 79 и 75 см. Такая же тенденция и в других травосмесях. Следовательно, влияние покровной культуры зерносмесь на высоту многолетних трав более значительно по сравнению с одновидовым посевом ячменя.

Урожайность многолетних травосмесей выше при покровной культуре ячмень. Так, урожайность сухого вещества травосмеси галега + кострец под покровом ячменя достигал 4,6 т/га. Под покровной культурой зерносмесь – 4,25 т/га. Аналогичные показатели в люцерно-кострецовой смеси соответственно 4,42 и 3,91 т/га абсолютно сухого вещества. В клеверо-кострецовой травосмеси соответственно 3,29 и 3,14 т/га абсолютно сухого вещества. Следовательно, по результатам двух закладок опыта в 2007 и 2008 гг. можно заключить, что урожайность многолетних трав выше под покровной культурой ячмень. В связи с этим культуру можно рекомендовать в качестве покровной для многолетних трав. Зернобобовая травосмесь также может быть рекомендована как покровная, поскольку ее урожайность существенно выше по сравнению с ячменем. Кроме того, кормовые достоинства ее лучше подходят для приготовления зерносенажа в период уборки.

Структурные показатели, а также продуктивность покровной культуры (ячмень) отличались при разных сроках посева (опыт № 2). Разница по высоте у растений весеннего и летнего посевов объясняется более длительным сроком развития растений ячменя от посева и до уборки при весеннем посеве. Так, урожайность надземной массы ячменя при посеве весной достигала 4,3 т/га сухого вещества. При летнем сроке посева – 2,5–3 т/га сухого вещества. Это можно объяснить более длительным периодом развития ячменя от посева весной до уборки в конце августа. Небольшую разницу в урожайности многолетних трав при весеннем и летнем посеве можно объяснить лучшими условиями для их укоренения летом. В этот период отмечается максимальная физиологическая активность растений. Длинный световой день, теплые ночи, июльские осадки создают идеальные условия для фотосинтеза и накопления питательных веществ. Развивается мощная корневая система, что важно для продуктивности многолетних трав в последующие годы.

ВЫВОДЫ

1. Покровные культуры ячмень и зерносмесь оказывают разное влияние на подпокровные многолетние травосмеси. Зерносмесь способствует снижению густоты стеблестоя многолетних трав, что сказывается на уменьшении их продуктивности.

2. Продуктивность покровной культуры зерносмесь значительно выше по сравнению с ячменем. Кроме этого, зерносмесь более подходит для заготовки зерносенажа.

3. Наиболее высокая урожайность была у травосмеси галега + кострец, сеяной под покровную культуру ячмень, – 4,6 т/га абсолютно сухого вещества. Самая низкая урожайность – 2,68 т/га – отмечена у клеверо-тимофеечной смеси, сеяной под покровную культуру зерносмесь. Это можно объяснить хозяйственно-биологическими особенностями травосмесей и влиянием покровных культур.

4. Урожайность надземной массы ячменя как покровной культуры для многолетних травосмесей выше при весеннем посеве. В последующие годы урожайность подпокровных многолетних травосмесей при весеннем и летнем сроках посева почти не отличается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Evaluation of the effectiveness of irrigation methods and fertilization strategies for alfalfa: A meta – analysis* / L. Wanlu, L. Lulu, G. Jiangbo [et al.] // *Journal of Agronomy and Crop Science*. – 2023. – P. 1–14. – DOI: 10. 1111/ jac/ 12660.
2. *Ivanova E., Yayuk L. Influence of alfalfa changeable (Medicago varia Mar.) on the fertility of meadow – brown bleached soil of the Primorsky Krai* // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2022. – Vol. 353. – P. 303–310. – DOI: 10 1007/ 978-3-030-91402-8 35. – EDN: JABHST.
3. *Миркин Б.М. Взаимоотношение соседства в злаково-бобовых сообществах* // *Ботанический журнал*. – 1982. – Т. 67, № 3. – С. 392–395.
4. *Мухамеджанов М. Пути повышения плодородия почв* // *Сельское хозяйство Узбекистана*. – 1978. – № 11. – С. 16–19.
5. *Бакшаев Д.Ю. Эффективность и конкурентная способность фестулолиума в смеси с люцерной при выращивании на корм* // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2023. – Т. 53, № 1. – С. 36–44. – DOI: 10. 26898/0370-8799-2023-1-5.
6. *Борисова Е.Е., Сизова Ю.В., Шуварин М.В. Влияние покровных культур на урожайность клевера* // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. – 2020. – № 2(61). – С. 56–60.
7. *Золотарев В.Н. Оценка взаимодействия видов многолетних мятликовых трав (POACEAE) с клевером ползучим (TRIFOLIUM REPENS L.) в смешанных агрофитоценозах в контексте биологизации семеноводства* // *Адаптивное кормопроизводство*. – 2020. – № 4. – С. 46–66. – DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-4-46-66.
8. *Содержание и переваримость питательных веществ сена и сенажа из бобово-злаковых травосмесей в рационах бычков* / Х.Г. Ишмуратов, Б.Г. Шарифьянов, И.Ф. Юмагузин, Ф.М. Шагалиев // *Инновационные технологии в сельском хозяйстве, ветеринарии и пищевой промышленности: сб. науч. статей по мат-лам 85-й Междунар. науч.-практ. конф. «Аграрная наука – Северо-Кавказскому федеральному округу»*. – Ставрополь, 2020. – С. 152–157.
9. *Кирилкин С.С., Шелото Б.В. Продуктивность бинарных травосмесей эспарцета песчаного и люцерны изменчивой со злаковыми травами* // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2023. – № 2. – С. 135–138.
10. *Экономическая эффективность создания и использования культурных пастбищ для молочного скота в современных условиях* / А.А. Кутузова, К.Н. Привалова, Д.М. Тебердиев [и др.] // *Кормопроизводство*. – 2020. – № 4. – С. 9–14.
11. *Монгуш Л.Т. Покровный и беспокровный посев многолетних трав в условиях республики Тыва* // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени Б.А. Костычева*. – 2019. – № 4(44). – С. 41–45.
12. *Прядильщикова Е.Н., Вахрушева В.В., Старковский Б.Н. Создание пастбищных агрофитоценозов для адаптивного кормопроизводства Северо-Запада РФ* // *Молочнохозяйственный вестник*. – 2022. – № 4(48). – С. 65–80. – DOI: 10.52231/2225-4269_202 1_-3_65. – EDN REPGJU.
13. *Рябова Т.Н. Создание высокопродуктивных травостоев райграса пастбищного и фестулолиума с бобовыми культурами* // *Вестник Ижевской государственной академии*. – 2024. – № 2(78). – С. 30–35. – DOI: 10.48012/1817-5457_2024_2_30-35. – EDN SCTKTC.
14. *Серегин М.Ф. Формирование урожайности смесей с люцерной изменчивой в зависимости от соотношения компонентов* // *Тенденции развития науки и образования*. – 2024. – № 115, Ч. 13. – С. 43–45. – DOI: 10. 18411/ trnio-11-2024-599. – EDN BPIMTC.
15. *Степанова Т.В., Филиппов И.А. Побегообразовательная способность и урожайность бобовозлаковых и злаковых травостоев с участием фестулолиума в зависимости от азотного питания в условиях Ленинградской области* // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2022. – № 2(67). – С. 40–47. – DOI: 10. 24412/2078-1318-2022-2-40-47. – EDN BLZAGU.
16. *Татаркина Н., Сафин Ф. Сенаж из бобовых культур при откорме бычков* // *Молочное и мясное скотоводство*. – 2007. – № 8. – С. 5–7.
17. *Григорьев К.В., Шапкаргов Л.Г., Методьев Г.А. Энергетическая и экономическая оценка возделывания донника желтого под покровом яровых зерновых и кормовых культур* // *Пермский аграрный вестник*. – 2017. – № 3. – С. 56–60.
18. *Першилин К.Г. Адаптивная интенсификация кормопроизводства в лесостепи Западной Сибири: дис. в виде науч. докл. ... д-ра с.-х. наук*. – Новосибирск, 2000. – 54 с.
19. *Кашеваров Н.И. Агротехнологии производства кормов в Сибири: практ. пособие* / Рос. акад. с.-х. наук. Сиб. регион. отд-ние СибНИИ кормов. – Новосибирск, 2013. – 248 с.
20. *Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. заведений по агр. специальностям*. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

21. Бенц В.А., Кашеваров Н.И., Демарчук Г.А. Полевое кормопроизводство в Сибири / РАСХН. Сиб. отд. СибНИИ кормов. – Новосибирск, 2001. – 240 с.

REFERENCES

1. Wanlu L., Lulu L., Jiangbo G. [et al.], Evaluation of the effectiveness of irrigation methods and fertilization strategies for alfalfa: A meta – analysis, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2023, pp. 1–14, DOI: 10. 1111/ jac/ 12660.
2. Ivanova E., Yayuk L., Influence of alfalfa changeable (*Medicago varia* Mar.) on the fertility of meadow – brown bleached soil of the Primorsky Krai, *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, Vol. 353, pp. 303–310, DOI: 10 1007/ 978-3-030-91402-8 35, EDN: JABHST.
3. Mirkin B.M., *Botanical Journal*, 1982, Vol. 67, No. 3, pp. 392–395. (In Russ.)
4. Mukhamedzhanov M., *Agriculture of Uzbekistan*, 1978, No. 11, pp. 16–19. (In Russ.)
5. Bakshaev D.Yu., *Siberian Bulletin of Agricultural Science*, 2023, Vol. 53, No. 1, pp. 36–44, DOI: 10.26898/0370-8799-2023-1-5. (In Russ.)
6. Borisova E.E., Sizova Yu.V., Shuvarin M.V., *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*, 2020, No. 2(61), pp. 56–60. (In Russ.)
7. Zolotaryov V.N., *Adaptive Forage Production*, 2020, No. 4, pp. 46–66, DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-4-46-66. (In Russ.)
8. Ishmuratov Kh.G., Sharifyanov B.G., Yumaguzin I.F., Shagaliev F.M., *Innovacionnye tekhnologii v sel'skom hozyajstve, veterinarii i pishchevoj promyshlennosti* (Innovative Technologies in Agriculture, Veterinary Medicine, and Food Industry), Collection of Scientific Papers, Stavropol, 2020, pp. 152–157. (In Russ.)
9. Kirilkin S.S., Shelyuto B.V., *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, 2023, No. 2, pp. 135–138. (In Russ.)
10. Kutuzova A.A., Privalova K.N., Teberdiev D.M. [et al.], *Forage Production*, 2020, No. 4, pp. 9–14. (In Russ.)
11. Mongush L.T., *Bulletin of RGATU*, 2019, No. 4(44), pp. 41–45. (In Russ.)
12. Pryadilshchikova E.N., Vakhrusheva V.V., Starkovsky B.N., *Dairy Farming Bulletin*, 2022, No. 4(48), pp. 65–80, DOI: 10.52231/2225-4269_2021_3_65, EDN REPGJU. (In Russ.)
13. Ryabova T.N., *Bulletin of Izhevsk State Academy*, 2024, No. 2(78), pp. 30–35, DOI: 10.48012/1817-5457_2024_2_30-35, EDN SCTKTC. (In Russ.)
14. Seryogin M.F., *Trends in the Development of Science and Education*, 2024, No. 115–163, pp. 43–45, DOI: 10.18411/trnio-11-2024-599, EDN BPIMTC. (In Russ.)
15. Stepanova T.V., Filippov I.A., *Proceedings of St. Petersburg State Agrarian University*, 2022, No. 2(67), pp. 40–47, DOI: 10.24412/2078-1318-2022-2-40-47, EDN BLZAGU. (In Russ.)
16. Tatarkina N., Safin F., *Dairy and Meat Cattle Breeding*, 2007, No. 8, pp. 5–7. (In Russ.)
17. Grigoriev K.V., Shashkarov L.G., Methodiev G.A., *Perm Agrarian Bulletin*, 2017, No. 3, pp. 56–60. (In Russ.)
18. Pershilin K.G., *Adaptivnaya intensivkaciya kormoproizvodstva v lesostepi Zapadnoj Sibiri* (Adaptive intensification of feed production in the forest-steppe of Western Siberia), Dissertation in the form of a scientific report, Novosibirsk, 2000, 54 p.
19. *Agrotekhnologii proizvodstva kormov v Sibiri* (Agrotechnologies for Forage Production in Siberia), Practical Guide, Novosibirsk, 248 p.
20. Dospikhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)* (Field Experiment Methodology (with Fundamentals of Statistical Processing of Research Results)), Moscow, 1985, 351 p.
21. Bents V.A., Kasevarov N.I., Demarchuk G.A., *Polevoe kormoproizvodstvo v Sibiri* (Field Forage Production in Siberia), Novosibirsk, 2001, 240 p.

Информация об авторах:

В.А. Петрук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

А.О. Вотяков, соискатель

Contribution of the authors:

V.A. Petruk, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

A.O. Votyakov, PhD Candidate

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ ЗООКОМПОСТА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ БАРХАТЦЕВ ОТКЛОНЕННЫХ

¹Я.В. Пухальский, ¹С.И. Лоскутов, ²Е.А. Святковская, ²Е.П. Рыбалко,

³А.И. Якубовская, ³В.Р. Турковская, ³И.А. Каменева

¹Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

²Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр» Российской академии наук, Апатиты, Россия

³Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия

E-mail: puhalskyan@gmail.com

Для цитирования: Влияние зоокомпоста на рост и развитие бархатцев отклоненных / Я.В. Пухальский, С.И. Лоскутов, Е.А. Святковская, Е.П. Рыбалко, А.И. Якубовская, В.Р. Турковская, И.А. Каменева // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 47–62. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-47-62.

Реферат. В статье представлены результаты исследования влияния водных и щелочных экстрактов зоокомпоста – продукта переработки отходов личинками черной львинки (*Hermetia illucens*) – на вегетативный рост, развитие и декоративные характеристики бархатцев отклоненных (*Tagetes patula* L. сорта Bonanza orange). Эксперимент проводился в тепличных условиях (температура +20...+26 °С, влажность 70–80 %) в условиях хемопоники (разновидность гидропоники) на кокосовом субстрате. Зоокомпост, полученный из экскрементов личинок, выращенных на пшеничных отрубях, характеризовался высоким содержанием органического вещества (82,8 %), азота (1,8 %), фосфора и калия, а также наличием гуминовых кислот (9,8 %) и полезной микрофлоры (преимущественно *Bacillus* spp.). Исходные 10 % суспензии экстрагировали водой или гидроксидом калия, после чего разводили до концентраций 0,01–8,0 % и вносили как однократную корневую подкормку. Контролем служила фильтрованная вода. Результаты показали, что оба типа экстрактов значимо ($p < 0,001$) стимулировали рост растений: при концентрациях 3,0–5,0 % масса побегов увеличилась на 160 % относительно контроля, ускорилось формирование соцветий (на 8–10 сут), возросло количество бутонов (до 16 шт. против восьми в контроле) и их совокупная масса. Оптимальной для улучшения декоративных качеств (диаметр цветка до 6,2 см) признана концентрация 1,0 %. Щелочной экстракт продемонстрировал более предсказуемую эффективность ($r = 0,89–0,91$ для связи концентрации с массой побегов и соцветий). Концентрации свыше 5,0 % ингибировали цветение, уменьшая диаметр цветка до контрольных значений (3,5–4,0 см).

Ключевые слова: зоокомпост, жидкое удобрение, технология выращивания, бархатцы, устойчивое цветоводство, черная львинка, продуктивность.

INFLUENCE OF ZOOCOMPOST ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF MARIGOLDS

¹J.V. Puhalsky, ¹S.I. Loskutov, ²E.A. Svyatkovskaya, ²E.P. Rybalko,

³A.I. Yakubovskaya, ³V.R. Turkovskaya, ³I.A. Kameneva

¹All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

²Polar-Alpine Botanical Garden-Institute named after N.A. Avrorina is a separate division of the Federal State Budgetary Institution of Science, the Federal Research Center “Kola Scientific Center” of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

³Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia

E-mail: puhalskyan@gmail.com

Abstract. The article presents the results of a study of the effect of aqueous and alkaline extracts of zoocompost – a product of waste processing by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – on the vegetative growth, development and decorative characteristics of marigolds (*Tagetes patula* L. variety Bonanza orange). The experiment was conducted in greenhouse conditions (temperature +20...+26 °C, humidity 70–80 %) under chemoponics (a type of hydroponics) conditions on a coconut substrate. The zoocompost obtained from the excrement of larvae grown on wheat bran was characterized by a high content of organic matter (82.8 %), nitrogen

(1.8 %), phosphorus and potassium, as well as the presence of humic acids (9.8 %) and beneficial microflora (mainly *Bacillus* spp.). The initial 10 % suspension was extracted with water or potassium hydroxide, then diluted to concentrations of 0.01–8.0 % and applied as a single root dressing. Filtered water served as a control. The results showed that both types of extracts significantly ($p < 0.001$) stimulated plant growth: at concentrations of 3.0–5.0 %, the shoot weight increased by 160% relative to the control, inflorescence formation accelerated (by 8–10 days), the number of buds increased (up to 16 pcs. versus 8 in the control) and their total mass. A concentration of 1.0 % was recognized as optimal for improving decorative qualities (flower diameter up to 6.2 cm). The alkaline extract demonstrated more predictable efficiency ($r = 0.89–0.91$ for the relationship between concentration and shoot and inflorescence weight). Concentrations above 5.0% inhibited flowering, reducing the flower diameter to control values (3.5–4.0 cm).

Keywords: Zoocompost, liquid fertilizer, cultivation technology, marigolds, sustainable floriculture, black soldier fly, productivity.

Род бархатцы (*Tagetes* L.), включающий свыше тридцати видов однолетних и многолетних травянистых растений семейства Астровые (*Asteraceae*), широко распространен от южных регионов США до Аргентины. Интродуцированные в Россию в XVIII в. сорта получили широкое распространение в городском и частном озеленении благодаря выраженным декоративным характеристикам, низкой требовательности к агротехнике и высокой стрессоустойчивости [1]. В ландшафтном дизайне наибольшее применение находят бархатцы прямостоячие (*Tagetes erecta* L.) и отклоненные (*Tagetes patula* L.), причем последние отличаются наибольшим разнообразием окраски соцветий [2–4]. Практический интерес к *T. patula* обусловлен исключительно высоким для растений уровнем аккумуляции ксантофиллов (в частности, диэфиров лютеина) в цветках [5–8], а также антибактериальными свойствами экстрактов, используемых при терапии воспалительных и инфекционных заболеваний кожи и глаз [9–11].

В условиях средней полосы европейской части России *T. patula* целесообразно выращивать рассадным способом в защищенном грунте. Для оптимизации декоративных качеств рассады перед высадкой в открытый грунт рекомендуется применение минеральных удобрений и регуляторов роста растений [12].

Применение органических удобрений в цветоводстве, в отличие от сельскохозяйственного сектора, пока не стало массовой практикой [13]. Несмотря на это, некоторые производители горшечных культур переходят на органику, чтобы создать продукцию с высокой декоративной ценностью. Такие экологичные цветы обладают дополнительной стоимостью благодаря своему качеству и безопасности. Однако распространению устойчивых методов мешает спрос со стороны торговых сетей, которым требуется быстрый оборот продукции, что легче обеспечить с помощью минеральных удобрений. Среди садоводов-любителей барьерами являются отсутствие экономических стимулов и недостаточная экологическая грамотность.

Отдельно стоит практика использования органики для выращивания технических культур, например, бархатцев. Хотя последние и не относятся к фармакопейным видам [14], внедрение данной агротехнологии актуально для интенсификации биосинтеза антиоксидантных соединений в цветках и улучшения габитуса растений в целом.

К перспективным органическим удобрениям нового типа относится зоокомпост – продукт жизнедеятельности личинок сапрофитной мухи черная львинка (*Hermetia illucens* Linnaeus, 1758), образующийся в процессе биоконверсии насекомыми отходов III–IV классов опасности [15, 16]. Исследования Jalil et al. указывают на предпочтение личинками белковых субстратов углеводным [17]. Идея использования экскрементов насекомых в качестве органического удобрения появилась относительно недавно. Данная технология замкнутого цикла характеризуется экономической эффективностью [18]. Исследования подтверждают соответствие экскрементов *H. illucens* стандартам качества, установленным для органических удобрений на основе отходов животноводства [19]. Установлено, что зоокомпост *H. illucens* содержит на 20–130 % больше азота (N), на 60–80 % больше фосфора (P) и на 17–193 % больше калия (K) по сравнению с экскрементами других насекомых, в частности ширтоцерки (*Schistocerca gregaria*), тутового шелкопряда (*Bombyx mori*), полевого сверчка (*Scapsipedus icipe*) и мучного хрущака (*Tenebrio molitor*) [20]. Общее содержание элементов варьирует от 0,8 до 5,1 % для азота, от 0,8 до 2,5 % для фосфора и от 0,2 до 4,1 % для калия соответственно [21, 22]. Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ в удобрении составляет примерно 1:0,9:1,1 [23]. Основной формой азота является мочева кислота, метаболизирующая до аммония (NH_4^+) и амми-

ака (NH_3), обладающего летучестью [24]. Низкое соотношение С:N в экскрементах относительно исходного субстрата обеспечивает высокую доступность элементов питания для растений [17, 22, 25]. По питательной ценности зоокомпост сопоставим с аммиачной селитрой (NH_4NO_3) и может служить ее органической заменой [26]. Продукт не аккумулирует токсичные металлы, микотоксины или инсектициды [16, 22, 25]. Содержание органического вещества (до 84,9 %) превышает таковое в навозе и традиционных компостах [23].

Минеральная фракция богата не только макро-, но и эссенциальными микроэлементами. Однако содержание последних варьирует в зависимости от выбора рациона кормления личинок [16, 21, 27, 28]. Микробиота зоокомпоста представлена преимущественно сапрофитными микроорганизмами кишечника насекомых, до 80 % которых составляют бактерии рода *Bacillus*, продуцирующие антимикробные пептиды [29–33]. Это обуславливает фунгицидные свойства продукта, проявляющие высокую активность против ряда экономически значимых фитопатогенных грибов. Также они секретируют вещества, стимулирующие рост растений, такие как фитогормоны [34]. Среди полезных бактерий также были обнаружены *Sporosarcina* spp., *Corynebacterium* spp., *Lactobacillus* spp., *Bacillus* spp., *Actinobacteria* spp. и *Pseudomonas* spp [35].

Несмотря на текущую ограниченность рынка зоокомпоста (объем 128 млн дол. в 2019 г.), прогнозируется его значительный рост до 3,4–3,9 млрд дол. к 2030 г. [35]. В связи с этим разработка методик экстракции и апробация рабочих концентраций данного сырья приобретают актуальность как для аграрного сектора, так и для промышленного цветоводства.

Цель эксперимента заключалась в изучении влияния возрастающих концентраций внесения органоминеральных суспензий зоокомпоста на рост, развитие и декоративные показатели бархатцев отклоненных.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассаду выращивали летом 2025 г. при естественном освещении на территории Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина в теплице научно-исследовательского центра интенсивного растениеводства «Зимний сад». Теплица остекленная. Температура воздуха в дневное время на момент проведения исследований составляла +20...+26 °С, влажность воздуха 70–80 %. Известно, что растения имеют наилучшее качество, когда выращиваются при более низких температурах с яркой освещенностью, таких как климатические условия, которые мы имели во время нашего исследования.

В опыте использовали семена *T. patula* сорта Bonanza orange (PanAmerican Seed, США). Посев проводили в пластиковые кассеты с дренажными отверстиями и размером ячеек 40×45×60 мм, заполненные кокосовым питательным субстратом, характеристика которого приведена в табл. 1 [36]. Ключевыми агрохимическими показателями субстрата являются: нейтральный показатель кислотности (рН = 6,5), высокая электропроводность (880 мСм/см), средняя плотность (115,0 кг/м³), а также стартовая доза содержания макро- и микроэлементов.

Схема опыта была следующая:

контроль (фильтрованная водопроводная вода);

водный экстракт зоокомпоста в диапазоне концентраций разведения 0,01–8,0 %;

щелочной экстракт зоокомпоста в диапазоне концентраций разведения 0,01–8,0 %

В одну ячейку сеяли по два растения.

Таблица 1

Физико-химическая характеристика кокосового субстрата, используемого для выращивания бархатцев кассетным способом
Physicochemical characteristics of coconut substrate used for growing marigolds using the cassette method

Параметр	Значение
1	2
Плотность, кг/м ³	115,0
Водоудерживающая способность, %	64,0
Электропроводность, мСм/см	880,0

1	2
pH _{KCl}	6,5
Степень минерализации волокна, ppm	400,0
NO ₃ , г/кг сухого вещества	2,6
NH ₄ , г/кг сухого вещества	1,7
P, г/кг сухого веществ	1,7
K, г/кг сухого вещества	80,4
Ca, г/кг сухого вещества	16,7
Mg, г/кг сухого вещества	5,7
S, г/кг сухого вещества	1,1
Na, г/кг сухого вещества	19,8
Cl, г/кг сухого вещества	77,5

Сверху семена присыпали слоем субстрата 1–2 мм. Кассеты помещали в мини-парники и закрывали прозрачной крышкой. Для предотвращения скапливания конденсата на внутренней стороне крышки рассаду проветривали ежедневно. С появлением всходов на третьи сутки посеы открывали.

В каждом варианте опыта было по 24 растения. Повторность трехкратная. Длительность опыта составила 45 сут.

Выбор данных концентраций для разведения и внесения в субстрат был основан на нашей прежней работе, а также рекомендациях других авторов [37–40]. Растворы зоокомпоста в опыте применяли как одноразовые корневые подкормки, что рекомендуют для подобных органических удобрений под сельскохозяйственные культуры, путем сквозного пролива и оптимального увлажнения субстрата [41–44]. В дальнейшем поддержание влажности субстрата поддерживали поливом фильтрованной водопроводной водой.

Порошок зоокомпоста получали путем просеивания, высушивания и измельчения экскрементов личинок *H. illucens*, выращенных на базе лабораторного инсектария ВНИИ пищевых добавок (Санкт-Петербург). Рацион питания личинок включал пшеничные отруби, что давало наибольший выход содержания общего азота (3,2–4,8 %) в зоокомпосте [45].

Основные исследования проводили на базе лаборатории промышленных биотехнологических инноваций ВНИИПД. Общее содержание органического вещества в сухом зоокомпосте равнялось 82,8 % (ГОСТ 26213), органического углерода – 34,2 % (ГОСТ 10694–2024), общего азота – 1,8 % (ГОСТ Р 58596–2019), гуминовых кислот – 9,8 % (методика В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой). Соотношение C/N составляло 19:1. Компост с соотношением C/N менее 20:1 полезен для растений, поскольку органический азот минерализуется в неорганический азот, который затем становится доступным для усвоения растениями.

Исходный биостимулирующий раствор 10,0 % концентратов для последующего разведения изготавливали путем растворения зоокомпоста в дистиллированной воде либо 1%-м растворе гидроксида калия. Получившиеся суспензии перемешивали с принудительной аэрацией в течение 8 ч с помощью верхнеприводной мешалки MICROSTAR 7.5 control (IKA, Германия) для улучшения контакта частиц с жидкой средой, в дальнейшем настаивали в течение 16 ч при комнатной температуре. Выбор данного временного режима экстракции был обусловлен оптимальным извлечением биогенных элементов из исходного сырья [40] в суспензию, выходом гумусовых кислот, а также снижением риска развития анаэробных процессов с брожением и появлением неприятного запаха. Получившуюся суспензию отделяли от осадка путем фильтрации (рис. 1). Значения кислотности суспензии при щелочной экстракции подвели до значений pH = 7,0 концентрированной серной кислотой.



Рис. 1. Исходный порошок и суспензия зоокомпоста после экстракции и фильтрации
The original powder and suspension of zoocompost after extraction and filtration

В табл. 2 приведен элементный состав исходной водной и щелочной суспензий зоокомпоста для дальнейшего разведения. Анализ проводили с помощью метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) на оптическом спектрометре ICPE-9000 (Shimadzu, Япония).

Таблица 2

Элементный состав исходных 10%-х суспензий зоокомпоста, используемых в эксперименте, мг/л
Elemental composition of the initial 10% zoocompost suspensions used in the experiment, mg/l

Элемент	Водный раствор	Щелочной раствор
Al	1,3	2,6
Ba	0,2	0,3
Ca	36,0	18,0
Cr	0,03	0,03
Cu	0,4	0,5
Fe	7,3	11,0
K	1370,0	3065,0
Li	0,08	0,05
Mg	100,0	21,0
Mn	0,43	0,42
Mo	0,021	0,13
Na	37,0	44,0
Ni	0,07	0,11
P	721,0	374,0
S	101,0	140,0
Sr	0,32	0,29
Zn	1,3	1,5

Из приведенных значений видно, что кальция, магния и фосфора оказалось больше в водном экстракте, тогда как в щелочной вытяжке преобладал калий, молибден и железо. Объяснением данному факту может служить кислотность среды и химические свойства самих элементов. Основными анионами, связанными в органическом веществе с кальцием (Ca^{2+}) и магнием (Mg^{2+}), служат карбонаты, нитраты, сульфаты или фосфаты, многие из которых достаточно хорошо растворимы в воде. В щелочной суспензии до конечного подведения pH данные соли наравне с железом образуют труднорастворимые осадки. Алюминий является амфотерным элементом, в щелочной среде он также образует растворимые комплексные соли. Молибден лучше экстрагируется в щелочи из-за

высокой растворимости молибдатов. Преобладание доли калия в растворе обусловлено использованием гидроксида калия при щелочной экстракции.

По окончании эксперимента проводили оценку изменения морфометрических показателей растений (масса и высота побегов; масса, количество и диаметр цветов). Обработку полученных данных выполняли с помощью программы Excel 2016 (Microsoft Corp., США) и языка программирования Python 3.10. В расчетах использовали дисперсионный анализ, метод кластеризации по Уорду с построением дендрограммы близости по вариантам, а также анализ главных компонент PCA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показали, что обогащение субстрата вытяжками из зоокомпоста положительно повлияло на рост и морфогенез бархатцев (табл. 3). Раскрытие соцветий на вариантах с органикой наступает на 30–35 сут. роста, тогда как на контроле это происходит на 38–40 сут.

Таблица 3

Морфометрические параметры развития бархатцев отклоненных, выращенных с применением экстрактов зоокомпоста
Morphometric parameters of development of marigolds grown using zoocompost extracts

Вариант	Масса побега, г	Высота побега, см	Общее кол-во бутонов, шт./кассета	Масса бутона, г	Общая масса соцветий, г	Диаметр цветка, см
<i>Водный экстракт зоокомпоста</i>						
Контроль	1,2	15,3	8	1,2	9,6	3,5
0,01% Зоокомпост	1,4	14,4	8	1,4	11,2	4,6
0,03% Зоокомпост	1,6	15,0	8	1,1	8,8	5,3
0,05% Зоокомпост	1,7	16,8	8	1,4	11,2	5,6
0,1% Зоокомпост	1,5	15,4	8	1,3	10,4	5,6
0,3% Зоокомпост	1,4	15,6	8	1,3	10,4	5,6
0,5% Зоокомпост	1,7	13,8	8	1,2	9,6	5,8
1,0% Зоокомпост	2,0	15,4	9	1,6	14,4	6,2
3,0% Зоокомпост	3,6	16,5	9	1,8	16,2	6,0
5,0% Зоокомпост	4,5	15,3	16	1,2	19,2	4,0
8,0% Зоокомпост	5,1	16,1	13	1,1	14,3	3,5
<i>Щелочной экстракт зоокомпоста</i>						
Контроль	1,2	15,3	8	1,2	9,6	3,5
0,01% Зоокомпост	1,7	15,3	7	1,3	9,1	5,0
0,03% Зоокомпост	1,4	15,5	8	1,1	8,8	5,2
0,05% Зоокомпост	1,6	16,3	7	1,4	9,8	5,5
0,1% Зоокомпост	1,6	16,8	8	1,4	11,2	5,4
0,3% Зоокомпост	1,5	15,6	8	1,2	9,6	5,2
0,5% Зоокомпост	1,7	14,6	8	1,2	9,6	4,5
1,0% Зоокомпост	2,3	16,3	10	1,4	14,0	5,7
3,0% Зоокомпост	4,0	15,9	9	1,5	13,5	4,5
5,0% Зоокомпост	6,0	17,9	17	1,3	22,1	4,0
8,0% Зоокомпост	4,6	14,3	14	0,7	9,8	3,5

Визуально состояние развития растений под конец опыта на кокосовом субстрате, удобренном водным экстрактом зоокомпоста, представлено на рис. 2, а щелочным – на рис. 3.



Рис. 2. Бархатцы отклоненные, выращенные на фоне возрастающих концентраций внесения водного экстракта зоокомпоста в субстрат
Marigolds grown with increasing concentrations of aqueous extract of zoocompost added to the substrate



Рис. 3. Бархатцы отклоненные, выращенные на фоне возрастающих концентраций внесения щелочного экстракта зоокомпоста в субстрат
Marigolds grown with increasing concentrations of alkaline extract of zoocompost added to the substrate

Растения, выращенные на субстрате с добавкой обоих экстрактов зоокомпоста, в среднем были в 2 раза больше по массе контрольных растений. Лучший прирост в массе получен на вариантах 3–8 % (+160 % относительно контроля). Растения на этих вариантах также характеризовались увеличением высоты на 0,6–0,7 см и усилением кустистости. Предположительно это обусловлено перераспределением питательных веществ в пользу накопления вегетативной массы. Параллельно отмечалось увеличение количества бутонов и их совокупной массы. Однако при концентрации экстракта 8 % наблюдалось уменьшение диаметра цветка до контрольных значений (35–45 мм в среднем), что свидетельствует об ингибирующем действии данной дозы на процессы цветения.

Результаты однофакторного ANOVA-анализа показали статистически значимое влияние вариантов обработки на все исследуемые морфометрические показатели. Наиболее сильное влияние вариантов обработки наблюдается для массы побега ($F = 13,51, p < 0,001$) и диаметра цветка ($F = \infty, p < 0,001$). Это указывает на то, что применение экстрактов зоокомпоста оказывает существенное воздействие на ростовые характеристики и репродуктивное развитие растений. Масса бутонов и высота побегов также показали различия, но менее значимые ($F = 1,92, p < 0,05$ и $F = 1,69, p < 0,05$). Лучшие показатели отмечены для щелочного экстракта.

Метод корреляции Пирсона выявил сильную взаимосвязь между следующими показателями:

увеличением концентрации внесенного в субстрат зоокомпоста и массой побегов ($r = 0,92$ для водного экстракта и $r = 0,89$ для щелочного);

увеличением концентрации внесенного в субстрат зоокомпоста и диаметром цветка ($r = 0,75$ для водного экстракта и $r = 0,81$ для щелочного);

массой побега и диаметром цветка ($r = 0,78$ для водного экстракта и $r = 0,72$ для щелочного);

массой бутона и общей массой соцветий ($r = 0,85$ для водного экстракта и $r = 0,91$ для щелочного).

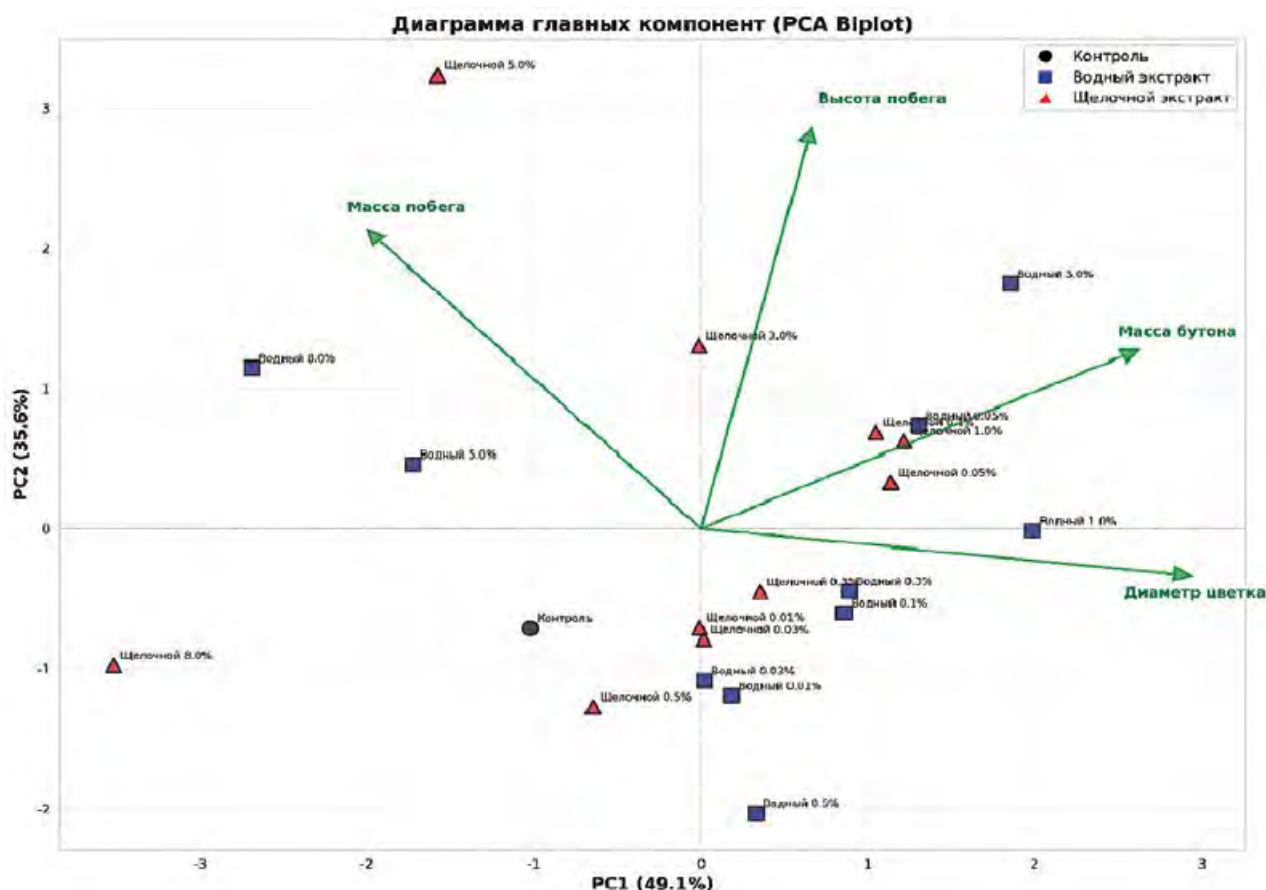


Рис. 4. Диаграмма ординации PCA, основанная на морфометрических параметрах бархатцев отклоненных, выращенных на возрастающих концентрациях зоокомпоста разного типа экстракции

PCA ordination diagram based on the morphometric parameters of marigolds grown on increasing concentrations of zoocompost of different extraction types

Примечание: PC1 (49,10 %) – первая главная компонента, связана преимущественно с диаметром цветка (нагрузка +0,945) и массой бутона (+0,843), отражает репродуктивное развитие растений; PC2 (35,62 %) – вторая компонента, связана с высотой побега (+0,920) и массой побега (+0,685), характеризует вегетативное развитие.

Наибольшей вариабельностью признака отличались: диаметр цветка (56 % для водного экстракта и 66 % для щелочного) и масса побегов (85 % для водного экстракта и 79 % для щелочного). Щелочной экстракт демонстрирует более предсказуемый результат.

Анализ главных компонент позволил редуцировать четырехмерное пространство морфометрических показателей до двух главных компонент в многомерном пространстве, объясняющих 84,72 % общей дисперсии. На диаграмме, представленной на рис. 4, выделены два независимых аспекта развития растений: генеративное развитие (PC1) и вегетативное развитие (PC2). Высокие концентрации экстрактов (3,0–8,0 %) способствуют увеличению массы побега, но при этом могут негативно влиять на диаметр цветка. Оптимальные концентрации 0,5–1,0 % обеспечивают сбалансированное развитие.

Иерархический кластерный анализ позволил выделить несколько групп сходных вариантов. На полученной дендрограмме (рис. 5) видно, что водные и щелочные экстракты одинаковых концентраций формируют близкие кластеры, что указывает на сходный характер их действия на растения.

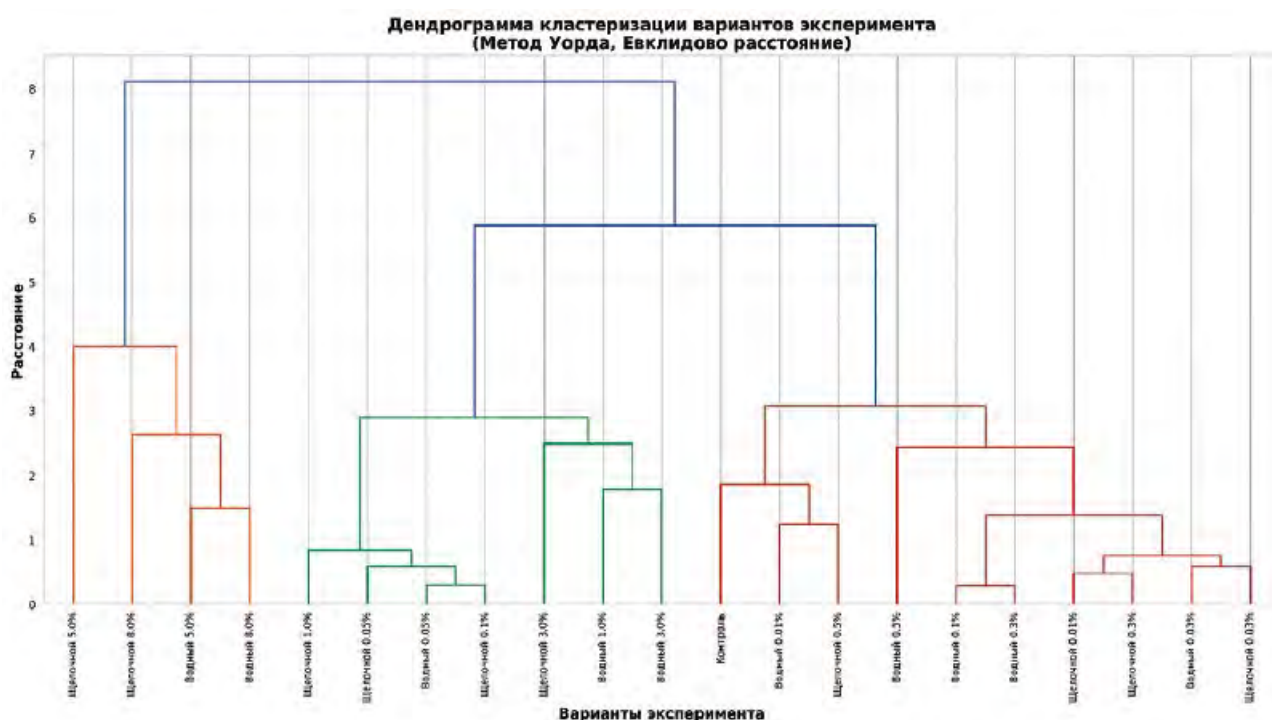


Рис. 5. Иерархическая дендрограмма кластеризации морфометрических показателей бархатцев отклоненных в различных вариантах опыта

Hierarchical dendrogram of clustering of morphometric parameters of marigolds rejected in different experimental variants

Примечание: Кластер 1 (красный цвет, низкие концентрации) – контроль и варианты с концентрациями 0,01–0,5 %, характеризуются умеренными показателями роста. Кластер 2 (зеленый цвет, средние концентрации) – варианты с концентрациями 1,0–3,0 %, демонстрируют наилучшее соотношение вегетативного и генеративного развития. Кластер 3 (оранжевый цвет, высокие концентрации) – варианты с концентрациями 5,0–8,0 %, отличаются максимальной массой побега, но сниженным диаметром цветка.

Рынок органической цветочной продукции демонстрирует наиболее динамичный рост в сегменте непищевых органических товаров. Оптимизация технологий возделывания с применением органических удобрений, подтвержденная научными данными, является залогом обеспечения высоких стандартов качества продукции, которую можно использовать для фармацевтической промышленности [46–48]. Хотя результаты исследований органических и неорганических удобрений не всегда совпадают, многие продавцы продвигают идею экологического выращивания растений в горшечной культуре или открытом грунте. Из плюсов здесь можно отметить тот факт, что в отличие от минеральных аналогов, органические удобрения на основе переработанных пищевых отходов характеризуются пролонгированным действием: питательные вещества высвобождаются постепенно в процессе минерализации в субстрате, обеспечивая длительное снабжение растений без необходи-

мости дополнительных минеральных подкормок [49]. Лимитирующими факторами эффективности являются концентрация нитратного азота в исходном сырье и кинетика его высвобождения. Помимо минеральной составляющей, зоокомпост обладает высокой биологической активностью. Содержащиеся в нем полезные микроорганизмы, хитиназы и гумусовые кислоты способствуют повышению плодородия и улучшению фитосанитарного состояния ризосферы, оптимизируют ее физические свойства (влагоемкость, пористость) и подавляют развитие патогенов.

ВЫВОДЫ

1. Проведенное исследование демонстрирует высокую эффективность применения экстрактов зоокомпоста черной львинки в качестве биостимулятора роста бархатцев при кассетном выращивании.

2. Комплексный статистический анализ, включающий ANOVA, PCA и кластерный анализ, позволил выявить оптимальные концентрации и установить характер влияния экстрактов на различные аспекты развития растений. Водный и щелочной экстракты проявляли сходный характер действия на морфометрические показатели при одинаковых концентрациях. Наиболее выраженный эффект наблюдался для массы побега и диаметра цветка. Однако для практического цветоводства целесообразно применение щелочного экстракта зоокомпоста, поскольку в нем больше доля содержания калия – ключевого макроэлемента, напрямую влияющего на цветение, отвечающего за формирование бутонов, яркость окраски, здоровье и долговечность растений.

3. Показан дозозависимый эффект: низкие концентрации (0,01–0,5 %) оказывали умеренное стимулирующее действие, средние концентрации (1,0–3,0 %) обеспечивали оптимальный баланс развития, высокие концентрации (5,0–8,0 %) стимулировали вегетативный рост в ущерб генеративному развитию.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (темы FGUS 2024-0010).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козлова Е.А., Ахметова Л.Р. Оценка декоративности некоторых сортов бархатцев (*Tagetes l.*) при выращивании их в открытом грунте в условиях города Москвы // Вестник ландшафтной архитектуры. – 2023. – № 34. – С. 27–29.
2. Максименко Н.В., Прохоров В.Н. Оценка различных видов *Tagetes l.* по основным хозяйственно ценным признакам // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 4. – С. 112–114.
3. Максименко Н.В., Прохоров В.Н. Оценка сортообразцов бархатцев *Tagetes l.* по показателям продуктивности // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 1. – С. 55–58.
4. Максименко Н.В. Оценка различных видов бархатцев (*Tagetes l.*) по колористическим признакам // Овощеводство. – 2019. – № 27. – С. 125–130.
5. Accumulation of Carotenoids and Metabolic Profiling in Different Cultivars of *Tagetes* Flowers / Y.J. Park, S.-Y. Park, M. Valan Arasu [et al.] // Molecules. – 2017. – № 22(2). – P. 313. – DOI: 10.3390/molecules22020313.
6. Determination of carotenoids in extracts from species of *Tagetes* and *Calendula* / A. Benea, C. Ciobanu, M. Cojocaru-Toma [et al.] // Moldovan Medical Journal. – 2020. – № 63(4). – P. 23–26. – DOI: 10.5281/zenodo.4016806.
7. Quantitative Profiling of Carotenoids, Tocopherols, Phytosterols, and Fatty Acids in the Flower Petals of Ten Marigold (*Tagetes* spp. L.) Cultivars / R.K. Saini, H.-Y. Ahn, G.-W. Park [et al.] // Foods. – 2023. – № 12. – P. 3549. – DOI: 10.3390/foods12193549.
8. Pavelková P., Krmela A., Schulzová V. Determination of carotenoids in flowers and food supplements by HPLC-DAD // Acta Chimica Slovaca. – 2020. – № 13(1). – P. 6–12. – DOI: 10.2478/acs-2020-0002.38.
9. Traditional uses, Phyto-chemistry and pharmacological activities of *Tagetes Patula* L. / M. Riaz, R. Ahmad, N.U. Rahman [et al.] // Journal of Ethnopharmacology. – 2020. – № 255. – P. 112718. – DOI: 10.1016/j.jep.2020.112718.
10. Pharmacognostic, Antimicrobial and Toxicological Studies of a Seasonal Medicinal Plant; *Tagetes Patula* L. / T. Faraz, G.H. Rizwani, B. Hina [et al.] // Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Science. – 2020. – Vol. 8(4). – P. 242–247. – DOI: 0.37962/jpps.v8i4.480.
11. Pharmacognostical and Phytopharmacological Study of *Tagetes Patula* L. / R.K. Singh, M. Arif, S. Mistry [et al.] // Journal of Chemical Health Risks. – 2025. – Vol. 15(3). – P. 241–249.
12. Волгин В.В., Потапова Н.В., Смолин Н.В. Декоративные качества и семенная продуктивность *Tagetes patula* (L.) в зависимости от применения минеральных удобрений и регуляторов роста // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 8(190). – С. 43–50.

13. *Response of Tagetes patula L. and Ageratum houstonianum Mill. to Microbial Biostimulant Inoculation and Organic Fertilization* / A. Miceli, A. Moncada, F. Vetrano [et al.] // *Agronomy*. – 2023. – Vol. 13(10). – P. 2522. – DOI: 10.3390/agronomy13102522.
14. Куркин В.А., Савельева А.Е., Куркина А.В. Разработка подходов к стандартизации цветков бархатцев отклоненных (*Tagetes patula L.*) // *Химия растительного сырья*. – 2022. – № 4. – С. 221–231. – DOI: 10.14258/jcrpm.2022049243.
15. Пендюрин Е.А., Рыбина С.Ю., Смоленская Л.М. Использование зоокомпоста черной львинки в качестве органического удобрения // *Аграрная наука*. – 2020. – № 340(7). – С. 106–110. – DOI: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110.
16. Elissen H., van der Weide R., Gollenbeek L. Effects of Black Soldier Fly Frass on Plant and Soil Characteristics: A Literature Overview // *Wageningen Plant Research*. – 2023. – Vol. 527. – P. 913–996. – DOI: 10.1874/587213.
17. *Decomposition of food waste from protein and carbohydrate sources by black soldier fly larvae, Hermetia illucens L.* / N. Jalil, S. Abdullah, I. Ahmad [et al.] // *Journal of Environmental Biology*. – 2021. – Vol. 42. – P. 756–761. – DOI: 10.22438/jeb/42/3(SI)/JEB-04.
18. *Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly* / D. Beesigamukama, B. Mochoge, N.K. Korir [et al.] // *Waste Management*. – 2021. – Vol. 119. – P. 183–194. – DOI: 10.1016/j.wasman.2020.09.043.
19. *Агрохимические характеристики зоокомпоста личинок насекомого Черная львинка* / Е.А. Пендюрин, В.А. Здоровцов, С.Ю. Рыбина [и др.] // *Агрохимический вестник*. – 2024. – № 3. – С. 59–62. – DOI: 10.24412/1029-2551-2024-3-010.
20. *Economic and ecological values of frass fertiliser from black soldier fly agro-industrial waste processing* / D. Beesigamukama, B. Mochoge, N. Korir [et al.] // *Journal of Insects as Food and Feed*. – 2022. – Vol. 8(3). – P. 245–254. – DOI: 10.3920/JIFF2021.0013.
21. *Lopes I.G., Yong J.W., Lalander C. Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives* // *Waste Management*. – 2022. – № 142. – P. 65–76. – DOI: 10.1016/j.wasman.2022.02.007.
22. *Potential applications of frass derived from black soldier fly larvae treatment of food waste: A review* / N.E.A. Basri, N.A. Azman, I.K. Ahmad [et al.] // *Foods*. – 2022. – № 11(17). – P. 2664. – DOI: 10.3390/foods11172664.
23. *Gärtling D., Schulz H. Compilation of black soldier fly frass analyses* // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. – 2022. – № 22. – P. 1–7. – DOI: 10.1007/s42729-021-00703-w.
24. *Green T.R., Popa R. Enhanced ammonia content in compost leachate processed by black soldier fly larvae* // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 2012. – № 166. – P. 1381–1387. – DOI: 10.1007/s12010-011-9530-6.
25. *Biodegradation by composting of municipal organic solid waste into organic fertilizer using the black soldier fly (Hermetia illucens) (Diptera: Stratiomyidae) larvae* / D.E. Sarpong, S. Oduro-Kwarteng, S.F. Gyasi [et al.] // *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. – 2019. – № 8. – P. 45–54. – DOI: 10.1007/s40093-019-0268-4.
26. *Schmitt E., de Vries W. Potential benefits of using Hermetia illucens frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction* // *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. – 2020. – Vol. 25. – P. 100335. – DOI: 10.1016/j.cogsc.2020.03.005.
27. *Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (Hermetia illucens (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF)* / K. Surendra, J.K. Tomberlin, A. van Huis [et al.] // *Waste management*. – 2020. – № 117. – P. 58–80. – DOI: 10.1016/j.wasman.2020.07.050.
28. *Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of Hermetia illucens (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae produced at an industrial scale* / A. Scala, J.A. Cammack, R. Salvia [et al.] // *Scientific Reports*. – 2020. – № 10. – P. 19448. – DOI: 10.1038/s41598-020-76571-8.
29. *Two Antimicrobial Peptides Derived from Bacillus and Their Properties* / Y. Zhang, Z. Meng, S. Li [et al.] // *Molecules*. – 2023. – № 28. – P. 7899. – DOI: 10.3390/molecules28237899.
30. *Antimicrobial peptides from Bacillus spp. and strategies to enhance their yield* / S.L. Puan, P. Erriah, M.M.Aa. Baharudin [et al.] // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2023. – Vol. 107. – P. 5569–5593. – DOI: 10.1007/s00253-023-12651-9.
31. *Choyam S., Jain P.M., Kammara R. Characterization of a Potent New-Generation Antimicrobial Peptide of Bacillus* // *Frontiers in Microbiology*. – 2021. – № 12. – P. 710741. – DOI: 10.3389/fmicb.2021.710741.
32. Чан К.В., Пакина Е.Н., Ха К.В. Идентификация генов биосинтеза антимикробных пептидов *Bacillus pumilus* в подавлении *Phytophthora* spp. // *Дальневосточный аграрный вестник*. – 2024. – № 2. – С. 80–88. – DOI: 10.22450/1999-6837-2024-18-2-80-88.
33. *Antimicrobial peptides of the genus Bacillus: a new era for antibiotics* / C.D. Sumi, B.W. Yang, Yeoln-Cheol [et al.] // *Canadian Journal of Microbiology*. – 2015. – № 61(2). – P. 93–103. – DOI: 10.1139/cjm-2014-0613.
34. *Poveda J., González-Andrés F. Bacillus as a source of phytohormones for use in agriculture* // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2021. – № 105. – P. 8629–8645.

35. *Future opportunities for products derived from black soldier fly (BSF) treatment as animal feed and fertilizer – A systematic review* / S.A. Siddiqui, A.S. Gadge, M. Hasan [et al.] // *Environment, Development and Sustainability*. – 2024. – № 26. – P. 30273–30354. – DOI: 10.1007/s10668-024-04673-8.
36. *Phenolic Constitution, Phytochemical and Macronutrient Content in Three Species of Microgreens as Modulated by Natural Fiber and Synthetic Substrates* / M.C. Kyriacou, C. El-Nakhel, A. Pannico [et al.] // *Antioxidants*. – 2020. – Vol. 9(3). – Article 252. – DOI: 10.3390/antiox9030252.
37. *Влияние микроэлементов на рост бархатцев на фоне зоогумуса* / С.И. Лоскутов, Я.В. Пухальский, О.А. Румянцева [и др.] // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. – 2025. – № 4. – С. 22–38.
38. *Шинкарев С.М., Аксенов С.И., Тарасов С.И. Применение зоогумуса в качестве органического удобрения в защищенном грунте* // *Плодородие*. – 2008. – № 4. – С. 17–18.
39. *Applications of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Frass on Sweetpotato Slip Production, Mineral Content and Benefit-Cost Analysis* / N. Romano, H. Fischer, A. Powell [et al.] // *Agronomy*. – 2022. – Vol. 12(4). – P. 928. – DOI: 10.3390/agronomy12040928.
40. *Supplementing aquaponics with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae frass tea: effects on the production and composition of sweet potato slips and sweet banana peppers* / N. Romano, A. Powell, S. Islam [et al.] // *Aquaculture*. – 2022. – № 555. – P. 738160. – DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.738160.
41. *One-time application of biochar influenced crop yield across three cropping cycles on tropical sandy loam soil in Ghana* / K.A. Frimpong, C.A. Phares, I. Boateng [et al.] // *Heliyon*. – 2021. – № 7. – e06267. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e06267.
42. *Effects of a One-Time Organic Fertilizer Application on Long-Term Crop and Residue Yields, and Soil Quality Measurements Using Biointensive Agriculture* / J. Beeby, S. Moore, L. Taylor [et al.] // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. – 2020. – № 4. – P. 67. – DOI: 10.3389/fsufs.2020.00067.
43. *Influence of One-Time Application of Vermicompost and NPK Fertilizers on the Growths and Mineral Nutrients of Indian Spinach (*Basella alba* L.)* / N. Das, M.S. Islam, M.A. Kashem [et al.] // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. – 2022. – № 22. – P. 2307–2321. – DOI: 10.1007/s42729-022-00810-2.
44. *Wijitkosum S., Sriburi T., Toonsiri P. Effect of One-Time Application of Biochar and Compost on Soil and Maize During 5-Time Consecutive Periods of Crop Cultivation* // *Emerging Science Journal*. – 2025. – Vol. 9(1). – P. 114–130. – DOI: 10.28991/ESJ-2025-09-01-07.
45. *Upcycling food waste using black soldier fly larvae: Effects of further composting on frass quality, fertilising effect and its global warming potential* / S. Song, A.W.L. Ee, J.K.N. Tan [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – № 288. – P. 125664. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125664.
46. *Оценка высушенных цветков бархатцев в качестве доступного источника диэфиров лютеина для целей хроматографической идентификации ксантофиллов* / И.А. Гостищев, М.Ю. Третьяков, И.П. Анисимович [и др.] // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естественные науки*. – 2010. – № 15(86). – С. 140–144.
47. *Идентификация ксантофиллов в экстракте лепестков цветков бархатцев* / М.С. Лапшова, В.И. Дейнека, Л.А. Дейнека [и др.] // *Журнал аналитической химии*. – 2013. – Т. 68, № 11. – С. 1130–1136. – DOI: 10.7868/S0044450213110078.
48. *Шишкина А.А. Разработка технологии получения сверхкритического со₂-экстракта бархатцев с высоким содержанием лютеина* // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2012. – № 1–1. – С. 164–165.
49. *Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Marigold Growth and Flowering* / G. Bi, W.B. Evans, J.M. Spiers [et al.] // *HortScience*. – 2010. – № 45. – P. 1373–1377. – DOI: 10.21273/HORTSCI.45.9.1373.

REFERENCES

1. Kozlova E.A., Ahmetova L.R., *Vestnik landshaftnoj arhitektury*, 2023, No. 34, pp. 27–29. (In Russ.)
2. Maksimenko N.V., Prohorov V.N., *Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2014, No. 4, pp. 112–114. (In Russ.)
3. Maksimenko N.V., Prohorov V.N., *Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2015, No. 1, pp. 55–58. (In Russ.)
4. Maksimenko N.V., *Ovoshchevodstvo*, 2019, No. 27, pp. 125–130. (In Russ.)
5. Park Y.J., Park S.-Y., Valan Arasu M., Al-Dhabi N.A., Ahn H.-g., Kim J.K., Park S.U., *Accumulation of Carotenoids and Metabolic Profiling in Different Cultivars of Tagetes Flowers*, *Molecules*, 2017, No. 22(2), pp. 313, DOI: 10.3390/molecules22020313.
6. Benea A., Ciobanu C., Cojocaru-Toma M., Ciobanu N., *Determination of carotenoids in extracts from species of Tagetes and Calendula*, *Moldovan Medical Journal*, 2020, No. 63(4), pp. 23–26, DOI: 10.5281/zenodo.4016806.

7. Saini R.K., Ahn H.-Y., Park G.-W., Shin J.-W., Lee J.-H., Yu J.-W., Song M.-H., Keum Y.-S., Lee J.-H., Quantitative Profiling of Carotenoids, Tocopherols, Phytosterols, and Fatty Acids in the Flower Petals of Ten Marigold (*Tagetes* spp. L.) Cultivars, *Foods*, 2023, No. 12, pp. 3549, DOI: 10.3390/foods12193549.
8. Pavelková P., Krmela A., Schulzová V., Determination of carotenoids in flowers and food supplements by HPLC-DAD, *Acta Chimica Slovaca*, 2020, No. 13(1), pp. 6–12, DOI: 10.2478/acs-2020-0002.38.
9. Riaz M., Ahmad R., Rahman N.U., Khan Z., Dou D., Sechel G., Manea R., Traditional uses, Phyto-chemistry and pharmacological activities of *Tagetes Patula* L., *Journal of Ethnopharmacology*, 2020, No. 255, pp. 112718, DOI: 10.1016/j.jep.2020.112718.
10. Faraz T., Rizwani G.H., Hina B., Sharif H., Pharmacognostic, Antimicrobial and Toxicological Studies of a Seasonal Medicinal Plant; *Tagetes Patula* L., *Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Science*, 2020, Vol. 8(4), pp. 242–247, DOI: 10.37962/jpps.v8i4.480.
11. Singh R.K., Arif M., Mistry S., Srivastava M., Wasim R., Kushwaha S.P., Soni P., Pharmacognostical and Phytopharmacological Study of *Tagetes Patula* L., *Journal of Chemical Health Risks*, 2025, Vol. 15(3), pp. 241–249.
12. Volgin V.V., Potapova N.V., Smolin N.V., *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 8(190), pp. 43–50. (In Russ.)
13. Miceli A., Moncada A., Vetrano F., Esposito A., Response of *Tagetes patula* L. and *Ageratum houstonianum* Mill. to Microbial Biostimulant Inoculation and Organic Fertilization, *Agronomy*, 2023, Vol. 13(10), pp. 2522, DOI: 10.3390/agronomy13102522.
14. Kurkin V.A., Savel'eva A.E., Kurkina A.V., *Himiya rastitel'nogo syr'ya*, 2022, No. 4, pp. 221–231, DOI: 10.14258/jcprm.2022049243. (In Russ.)
15. Pendyurin E.A., Rybina S.Yu., Smolenskaya L.M., *Agrarnaya nauka*, 2020, Vol. 340(7), pp. 106–110, DOI: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110. (In Russ.)
16. Elissen H., van der Weide R., Gollenbeek L., Effects of Black Soldier Fly Frass on Plant and Soil Characteristics: A Literature Overview, *Wageningen Plant Research*, 2023, Vol. 527, pp. 913–996, DOI: 10.1874/587213.
17. Jalil N., Abdullah S., Ahmad I., Basri N., Mohamed Z., Decomposition of food waste from protein and carbohydrate sources by black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* L., *Journal of Environmental Biology*, 2021, Vol. 42, pp. 756–761, DOI: 10.22438/jeb/42/3(SI)/JEB-04.
18. Beesigamukama D., Mochoge B., Korir N.K., Fiaboe K.K., Nakimbugwe D., Khamis F.M., Subramanian S., Wangu M.M., Dubois T., Ekesi S., Tanga C.M., Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly, *Waste Management*, 2021, Vol. 119, pp. 183–194, DOI: 10.1016/j.wasman.2020.09.043.
19. Pendyurin E.A., Zdorovcov V.A., Rybina S.Yu. [i dr.], *Agrohimicheskij vestnik*, 2024, No. 3, pp. 59–62, DOI: 10.24412/1029-2551-2024-3-010. (In Russ.)
20. Beesigamukama D., Mochoge B., Korir N., Menale K., Muriithi B., Kidoido M., Kirscht H., Diiro G., Ghemoh C.J., Sevgan S., Nakimbugwe D., Economic and ecological values of frass fertiliser from black soldier fly agro-industrial waste processing, *Journal of Insects as Food and Feed*, 2022, Vol. 8(3), pp. 245–254, DOI: 10.3920/JIFF2021.0013.
21. Lopes I.G., Yong J.W., Lalander C., Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives, *Waste Management*, 2022, No. 142, pp. 65–76, DOI: 10.1016/j.wasman.2022.02.007.
22. Basri N.E.A., Azman N.A., Ahmad I.K., Suja F., Jalil N.A.A., Amrul N.F., Potential applications of frass derived from black soldier fly larvae treatment of food waste: A review, *Foods*, 2022, No. 11(17), pp. 2664, DOI: 10.3390/foods11172664.
23. Gärtling D., Schulz H., Compilation of black soldier fly frass analyses, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2022, No. 22, pp. 1–7, DOI: 10.1007/s42729-021-00703-w.
24. Green T.R., Popa R., Enhanced ammonia content in compost leachate processed by black soldier fly larvae, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2012, No. 166, pp. 1381–1387, DOI: 10.1007/s12010-011-9530-6.
25. Sarpong D.E., Oduro-Kwarteng S., Gyasi S.F., Buamah R., Donkor E., Awuah E., Baah M.K., Biodegradation by composting of municipal organic solid waste into organic fertilizer using the black soldier fly (*Hermetia illucens*) (Diptera: Stratiomyidae) larvae, *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2019, No. 8, pp. 45–54, DOI: 10.1007/s40093-019-0268-4.
26. Schmitt E., de Vries W., Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 2020, Vol. 25, 100335, DOI: 10.1016/j.cogsc.2020.03.005.
27. Surendra K., Tomberlin J.K., van Huis A., Cammack J.A., Heckmann L.-H.L., Khanal S.K., Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF), *Waste management*, 2020, No. 117, pp. 58–80, DOI: 10.1016/j.wasman.2020.07.050.

28. Scala A., Cammack J.A., Salvia R., Scieuzo C., Franco A., Bufo S.A., Tomberlin J.K., Falabella P., Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae produced at an industrial scale, *Scientific Reports*, 2020, No. 10, pp. 19448, DOI: 10.1038/s41598-020-76571-8.
29. Zhang Y., Meng Z., Li S., Liu T., Song J., Li J., Zhang X., Two Antimicrobial Peptides Derived from *Bacillus* and Their Properties, *Molecules*, 2023, No. 28, pp. 7899, DOI: 10.3390/molecules28237899.
30. Puan S.L., Erriah P., Baharudin M.M.A., Yahaya N.M., Kamil W.N.I.W.A., Ali M.S.M., Ahmad S.A., Oslan S.N., Lim S., Sabri S., Antimicrobial peptides from *Bacillus* spp. and strategies to enhance their yield, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2023, Vol. 107, pp. 5569–5593, DOI: 10.1007/s00253-023-12651-9.
31. Choyam S., Jain P.M., Kammara R., Characterization of a Potent New-Generation Antimicrobial Peptide of *Bacillus*, *Frontiers in Microbiology*, 2021, No. 12, pp. 710741, DOI: 10.3389/fmicb.2021.710741.
32. Chan K.V., Pakina E.N., Ha K.V., *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*, 2024, No. 2, pp. 80–88, DOI: 10.22450/1999-6837-2024-18-2-80-88.
33. Sumi C.D., Yang B.W., YeoIn-Cheol, Hahm Y.T., Antimicrobial peptides of the genus *Bacillus*: a new era for antibiotics, *Canadian Journal of Microbiology*, 2015, No. 61(2), pp. 93–103, DOI: 10.1139/cjm-2014-0613.
34. Poveda J., González-Andrés F., *Bacillus* as a source of phytohormones for use in agriculture, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2021, No. 105, pp. 8629–8645.
35. Siddiqui S.A., Gadge A.S., Hasan, M., Rahayu T., Povetkin S.N., Fernando I., Castro-Muñoz R., Future opportunities for products derived from black soldier fly (BSF) treatment as animal feed and fertilizer - A systematic review, *Environment, Development and Sustainability*, 2024, No. 26, pp. 30273–30354, DOI: 10.1007/s10668-024-04673-8.
36. Kyriacou M.C., El-Nakhel C., Pannico A., Graziani G., Soteriou G.A., Giordano M., Palladino M., Ritieni A., De Pascale S., Roupheal Y., Phenolic Constitution, Phytochemical and Macronutrient Content in Three Species of Microgreens as Modulated by Natural Fiber and Synthetic Substrates, *Antioxidants*, 2020, Vol. 9(3), Article 252, DOI: 10.3390/antiox9030252.
37. Loskutov S.I., Puhalsky J.V., Rumyantseva O.A. [i dr.], *Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki*, 2025, No. 4, pp. 22–38. (In Russ.)
38. Shinkarev S.M., Aksekov S.I., Tarasov S.I., *Plodorodie*, 2008, No. 4, pp. 17–18. (In Russ.)
39. Romano N., Fischer H., Powell A., Sinha A.K., Islam S., Deb U., Francis S., Applications of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Frass on Sweetpotato Slip Production, Mineral Content and Benefit-Cost Analysis, *Agronomy*, 2022, Vol. 12(4), 928, DOI: 10.3390/agronomy12040928.
40. Romano N., Powell A., Islam S., Fischer H., Renukdas N., Sinha A.K., Francis S., Supplementing aquaponics with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae frass tea: effects on the production and composition of sweet potato slips and sweet banana peppers, *Aquaculture*, 2022, No. 555, pp. 738160, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.738160.
41. Frimpong K.A., Phares C.A., Boateng I., Abban-Baidoo E., Apuri L., One-time application of biochar influenced crop yield across three cropping cycles on tropical sandy loam soil in Ghana, *Heliyon*, 2021, No. 7, e06267, DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e06267.
42. Beeby J., Moore S., Taylor L., Nderitu S., Effects of a One-Time Organic Fertilizer Application on Long-Term Crop and Residue Yields, and Soil Quality Measurements Using Biointensive Agriculture, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2020, No. 4, pp. 67, DOI: 10.3389/fsufs.2020.00067.
43. Das N., Islam M.S., Kashem M.A., Osnan K.T., Influence of One-Time Application of Vermicompost and NPK Fertilizers on the Growths and Mineral Nutrients of Indian Spinach (*Basella alba* L.), *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2022, No. 22, pp. 2307–2321, DOI: 10.1007/s42729-022-00810-2.
44. Wijitkosum S., Sriburi T., Toonsiri P., Effect of One-Time Application of Biochar and Compost on Soil and Maize During 5-Time Consecutive Periods of Crop Cultivation, *Emerging Science Journal*, 2025, Vol. 9(1), pp. 114–130, DOI: 10.28991/ESJ-2025-09-01-07.
45. Song S., Ee A.W.L., Tan J.K.N., Cheong J.C., Chiam Z., Arora S., Lam W.N., Tan H.T.W., Upcycling food waste using black soldier fly larvae: Effects of further composting on frass quality, fertilising effect and its global warming potential, *Journal of Cleaner Production*, 2020, No. 288, pp. 125664, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125664.
46. Gostishchev I.A., Tret'yakov M.Yu., Anisimovich I.P. [i dr.], *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2010, No. 15 (86), pp. 140–144. (In Russ.)
47. Lapshova M.S., Dejneka V.I., Dejneka L.A. [i dr.], *Zhurnal analiticheskoy himii*, 2013, Vol. 68, No. 11, pp. 1130–1136, DOI: 10.7868/S0044450213110078. (In Russ.)
48. Shishkina A.A., *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, 2012, No. 1-1, pp. 164–165. (In Russ.)
49. Bi G., Evans W.B., Spiers J.M., Witcher A.L., Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Marigold Growth and Flowering, *HortScience*, 2010, No. 45, pp. 1373–1377, DOI: 10.21273/HORTSCI.45.9.1373.

Информация об авторах:

Я.В. Пухальский, научный сотрудник лаборатории промышленных биотехнологических инноваций

С.И. Лоскутов, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией и промышленных биотехнологических инноваций

Е.А. Святковская, научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения

Е.П. Рыбалко, младший научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения

А.И. Якубовская, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель отдела сельскохозяйственной микробиологии

В.Р. Турковская, инженер-исследователь

И.А. Каменева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией физиологии и экологии микроорганизмов

Contribution of the authors:

J.V. Puhalsky, Researcher, Industrial Biotechnological Innovations Laboratory

S.I. Loskutov, PhD in Agricultural Sciences, Head of Industrial Biotechnological Innovations Laboratory

E.A. Svyatkovskaya, Researcher, Ornamental Floriculture and Landscaping Laboratory

E.P. Rybalko, Junior Researcher, Ornamental Floriculture and Landscaping Laboratory

A.I. Yakubovskaya, PhD in Biology, Leading Researcher, Head of Agricultural Microbiology Department

V.R. Turkovskaya, Research Engineer

I.A. Kameneva, PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of Microorganism Physiology and Ecology Laboratory

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА РОСТА И РАЗВИТИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ КУСТАРНИКОВ В УСЛОВИЯХ СУБАРИДНЫХ СРЕДИЗЕМНОМОРСКИХ СУБТРОПИКОВ НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Д.А. Сакович, С.Х. Вышегуров

Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, Новосибирск, Россия

E-mail: ruguzv@rambler.ru

Для цитирования: Сакович Д.А., Вышегуров С.Х. Сезонная динамика роста и развития декоративных кустарников в условиях субаридных средиземноморских субтропиков на примере Южного берега Крыма // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 63–77. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-63-77.

Реферат. Впервые дана оценка ростовой активности декоративных кустарников разных сроков цветения в условиях субаридных средиземноморских субтропиков. Приводятся данные по срокам вегетации некоторых видов декоративных кустарников. Указан процент прироста однолетних побегов к общему приросту на дату окончания ростовой активности и определены сроки цветения декоративных кустарников разных видов. Указана скорость роста в зависимости от дат периода вегетации. Выявлены даты второй волны роста и значение их для декоративных кустарников. Учтено количество волн за сезон роста. Изучена взаимосвязь изменений средних показателей температур на ростовую активность и указан температурный режим для максимального роста некоторых зимостойких видов декоративных кустарников. Выделены самые быстрорастущие виды. Дается обоснование причин неоднородности роста у разных групп видов. Анализ ростовой активности видов сделан по методике вычисления первой производной роста. Обращено внимание на особенности роста по годам. Дана оценка повреждений почек и побегов декоративных кустарников при разной степени закалки с последующим действием низких температур.

Ключевые слова: адаптация, возобновление ресурсов, ростовые процессы, средние показатели температуры, скорость роста.

SEASONAL DYNAMICS OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF ORNAMENTAL SHRUBS IN SUBARID MEDITERRANEAN SUBTROPICS ON THE EXAMPLE OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA

D.A. Sakovich, S.Kh. Vyshegurov

Siberian State University of Engineering and Biotechnology, Novosibirsk, Russia

E-mail: ruguzv@rambler.ru

Abstract. For the first time, an assessment of the growth activity of ornamental shrubs of different flowering periods in subarid Mediterranean subtropics is given. Data on the growing season of some types of ornamental shrubs are provided. The percentage of growth of annual shoots to the total increase at the end of the growth activity is indicated. The timing of flowering of ornamental shrubs is given and the relationship between the timing of flowering and the stability of species is emphasized. The growth rate is indicated depending on the dates of the growing season. The dates of the second growth wave and their significance for ornamental shrubs have been revealed. The number of waves per growth season is taken into account. The relationship of changes in average temperatures to growth activity has been studied and the temperature regime for maximum growth of some winter-hardy species of ornamental shrubs has been indicated. The fastest-growing species have been identified. The reasons for the heterogeneity of growth in different groups of species are substantiated. The analysis of the growth activity of species was carried out using the method of calculating the first derivative of growth. Attention is drawn to the peculiarities of growth over the years. An assessment of damage to the buds and shoots of ornamental shrubs at different degrees of hardening with subsequent exposure to low temperatures is given.

Keywords: adaptation, renewal of resources, growth processes, average temperature indicators, growth rate.

Как известно, у декоративных кустарников рост в длину идет за счет меристематической ткани конуса нарастания, а в ширину – за счет деятельности камбия [1].

В процессе роста происходит перестройка дифференцировки клеток. Изменения процессов в клетках влияют на особенности их дифференциации и, в зависимости от активности роста, изменяется и характер этой дифференциации. Чем быстрее рост, тем медленней идет дифференциация и

наоборот [1]. Характер интенсивности превращений в клетках и тканях декоративных кустарников в процессе их роста влияет на подготовку их к неблагоприятному периоду года.

Исследование сезонного роста побегов древесных растений позволяет понять как воздействуют условия внешней среды (температура воздуха) в период роста растений, так и в период подготовки к нему [2]. Так, влияние неблагоприятных экологических факторов наиболее проявляется в торможении ростовых процессов вегетативных органов, т.е. тех процессов, которые служат интегральным выражением всех реакций в метаболизме растений: в этом наблюдается коррелятивная связь между напряженностью и длительностью процесса, с одной стороны, и степенью депрессии роста, с другой [3].

Резкое изменение условий среды радикально меняет как ритмы роста и развития, так и морфофизиологические особенности отдельных органов, а также весь габитус растений. Приспособление растений к окружающим условиям среды проявляется как в физиологических свойствах, так и во внешних морфологических признаках, определяющих габитус растений [4]. Физиолого-биохимические изменения, которые происходят в клетках растения при адаптации организма к низким температурам влияют на окончание ростовых процессов, способствуя формированию у декоративных растений биоресурсного потенциала. Так, срок окончания роста в перспективе влияет и на устойчивость к низким температурам, что связано с сокращением синтеза индолилуксусной кислоты и гиббереллинов [5]. У декоративных кустарников при воздействии низких температур происходит изменение состава олигосахаридов и других запасных веществ [6].

При изучении характера роста и развития растений следует обратить внимание на два основных периода: сохранение устойчивости растений в поздnezимний и весенний периоды, а также создание благоприятных условий в осеннее время с целью формирования адаптивных изменений для успешной перезимовки. Кроме того, необходимо знать динамику роста декоративных кустарников разных сроков цветения, так как от ростовой активности зависит своевременное окончание роста, что, как сказано выше, оказывает влияние на адаптацию растений.

Важными этапами в цикле роста является как срок начала, так и срок окончания ростовых процессов. О значимости для растений раннего начала роста идут дискуссии. Так, З.Г. Бонюк и М.Н. Кузнецовский считают, что для зимостойких видов характерно раннее начало роста, короткие сроки ростовых процессов, их высокая скорость и относительно небольшая величина прироста [7, 8]. Эти особенности способствуют накоплению большего запаса питательных веществ, своевременному обеспечению тканей защитными соединениями и, таким образом, лучшей подготовке к зиме. В то же время Л.С. Плотникова и Т.А. Соколова, отмечают, что высокие положительные температуры в начале весны ускоряют начало наступления вегетации, а позже эти растения страдают от последующих заморозков [9, 10]. Некоторые виды декоративных кустарников, которые имеют более позднее начало вегетации, избегают отрицательного влияния низких температур.

Запоздалый рост декоративных кустарников независимо от фактора задержки отрицательно влияет на зимостойкость особенно молодых побегов, так как растения не успевают хорошо подготовиться к переходу в покой. Сильный рост молодых побегов сказывается на зимостойкости не только этих побегов, но и на нижележащих частях ветвей. Остановка роста у древесных растений проходит в два этапа: в период вхождения в покой и при первой фазе закаливания. Прекращение роста – одно из многих необходимых условий развития морозостойкости растений. В характеристике роста особо интересен период, когда наблюдается его вторая волна на окончательном этапе вегетации. Как правило, вторая волна роста, как и запоздалый рост, снижает устойчивость декоративных кустарников к низким температурам, что связано с несвоевременным окончанием роста [11].

В связи с этим определена цель исследований: изучить динамику роста и развития декоративных кустарников разных сроков цветения для оценки адаптационных возможностей видов в условиях субаридных субтропиков (Южный берег Крыма, далее – ЮБК).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По данным А.И. Глазуриной, ЮБК, где расположен Никитский ботанический сад, относится к субаридным субтропическим районам с чередованием холодных и теплых зим с недостатком атмосферных осадков [12]. Площадь – 135 км². Район простирается от мыса Айя на западе и до горы Кастель у Алушты на востоке. Нижняя граница проходит по побережью, верхняя – на высоте 300 м над уровнем моря. Рельеф ступенчато-террасовый, овражно-балочный.

Почвы коричневые на продуктах выветривания глинистых сланцев и известняков. Климат средиземноморский субтропический засушливый, жаркий, с умеренно-теплой зимой. Средняя годовая температура воздуха 12–14 °С. Температура самого теплого месяца (в одних пунктах июля, в других – августа) составляет 23–25 °С, температура самого холодного (февраля) – 2,5–4,5 °С; средний из абсолютных годовых минимумов составляет –6...–9 °С, абсолютный минимум –15...–17 °С. В полдень в июле температура воздуха поднимается до 26,5–28,5 °С, в отдельные годы до 37–40 °С. На поверхности почвы максимальная температура в июле составляла +64 °С, минимальная – в январе: –18 °С. Зимний период или период с устойчивыми среднесуточными температурами воздуха ниже 0 °С наблюдаются крайне редко.

Исследования проходили в 2004–2006 гг. в арборетуме и окрестностях Никитского ботанического сада, Национального научного центра РАН (Ялта, ЮБК). Для исследований были отобраны 20 видов декоративных кустарников с разными сроками цветения. Они были разделены в зависимости от периода цветения на три группы: зимне- и ранневесеннецветущие: *Mahonia aquifolia* Nutt., *Chaenomeles x superba* (Sweet) Nakai, *Lonicera fragrantissima* Lindl., *Jasminum nudiflorum* Lindl., *Forsythia viridissima* Lindl., средневесеннецветущие и поздневесеннецветущие: *Cotoneaster horizontalis* Decne., *Cotoneaster glaucophyllus* 'Serotinus' Hutchins Stapf., *Crataegus crus galli* L., *Cotoneaster microphylla* Wall., *Exochorda alberti* Reg., *Laburnum anagyroides* Med., *Spiraea vanhouttei* (Briot) Zab., *Pyracantha coccinea* Roem., а также летнецветущие: *Cotoneaster salicifolia* Franch., *Hibiscus syriacus* L., *Spartium junceum* L., *Deutzia scabra* Thunb., *Symphoricarpos alba* Blake, *Euonymus japonica* Thunb., *Spiraea bumalda* Burv. Выбор этих видов обусловлен тем, что как интродуценты они представляют интерес в декоративном садоводстве разными сроками цветения, но использование их ограничено, так как они мало изучены.

Для изучения интенсивности роста побегов пользовались биометрическим методом. Рост побегов измеряли раз в две недели с апреля по октябрь. Полученные данные использовали для построения графиков с целью определения скорости роста с интервалом 5 дней путем вычисления первой производной функции роста по методу Л.З. Румшительского [13]. В эксперименте было использовано по 10 растений каждого вида в четырехкратной повторности.

Для изучения устойчивости побегов на окончательном этапе роста проводили прямое промораживание однолетних побегов в камере переменных температур по методу Т.С. Елмановой, А.И. Лищук и др. [14] в нашей модификации для декоративных кустарников. В эксперименте было использовано по 10 однолетних побегов двадцати видов декоративных кустарников. Испытания проведены в четырех повторностях. В контроле закалку проводили в одну фазу 0 °С (2 ч), в варианте опыта – в двух фазах: 0 °С (2 ч) и –2 °С (6 ч). Через два дня побеги в обоих вариантах промораживали при –6 °С (15 ч) и прогревали при температуре +15 °С (42 ч). При промораживании в зимне-весенний период побеги помещали в камеру переменной температуры и понижали ее со скоростью 2° в час до заданной температуры (ее величину устанавливали на основе анализа степени сформированности генеративной и вегетативной сферы, морозовыносливости вида). После промораживания побегов температуру повышали до 0 °С со скоростью 2 °С в час. При 0 °С побеги выдерживали 12 ч до полного оттаивания. Характер повреждений вегетативных, генеративных почек и побегов оценивали визуально по потемнению тканей на продольных срезах. Процент повреждения почек определяли как отношение числа поврежденных почек на побеге к общему их числу. Процент повреждения побегов определяли как отношение числа поврежденных побегов к их общему числу. Подбор температур и анализ повреждений выполнен по методу Т.С. Елмановой, А.И. Лищук и др. [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Один из основополагающих признаков начала подготовки к адаптации – это своевременное окончание или стремительное ослабление роста и развития растений. Подавление ростовых процессов должно быть своевременным, что позволит качественно подготовиться к неблагоприятным условиям, прежде всего к наступлению покоя. Затяжной период роста растений снижает устойчивость к низким температурам не только побегов, но и почек.

В условиях субаридных средиземноморских субтропиков ЮБК полное или частичное распускание почек у ряда кустарников наблюдается зимой и ранней весной. В этот период возможны возвратные потоки холодных воздушных масс с низкими температурами на фоне положительных значений температур, что приводит к повреждениям почек и побегов.

Анализ полученных данных показал, что в 2004–2005 гг., в группе зимне- и ранневесеннецветущих видов, у таких как *Forsythia viridissima*, *Jasminum nudiflorum*, *Lonicera fragrantissima*, *Mahonia aquifolium*, *Chaenomeles superba* вегетация начиналась с распускания генеративных почек. В 2004–2005 гг. *Jasminum nudiflorum* начал цвести в январе, а раздвигание вегетативных почек отмечено в середине марта. В январе зацвели все виды данной группы кроме *Forsythia viridissima*, у которого начало цветения наступает в I декаде марта. Наиболее раннее начало раздвигания вегетативных почек наблюдалось у *Chaenomeles superba* в I декаде февраля, у *Lonicera fragrantissima* оно отмечено во II декаде марта, у *Forsythia viridissima*, *Mahonia aquifolium* – в I декаде апреля (табл. 1).

У представителей данной группы цветения особенности ростового процесса напрямую связаны с сохранением морозостойкого состояния побегов в раннезимний период (табл. 2).

Важно отметить, что вегетативные почки и вегетативные элементы смешанных почек однолетних побегов у некоторых представителей из группы средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих видов (*Cotoneaster horizontalis*, *Laburnum anagyroides*) начали раздвигание в I декаде марта.

В группе летнецветущих видов раздвигание вегетативных почек отмечено в I декаде марта и I–II декаде апреля.

Исключением является вид *Euonymus japonica*, у которого раздвигание почек отмечено в III декаде февраля.

В группе зимне- и ранневесеннецветущих видов у *Lonicera fragrantissima*, *Chaenomeles superba* распускание почек наступает во II–III декаде марта, у *Forsythia viridissima*, *Mahonia aquifolium*, *Jasminum nudiflorum* – во II–III декаде апреля.

Таблица 1

Сроки раздвигания и распускания почек, цветения и процент прироста побегов декоративных кустарников в 2005–2006 гг.
Timing of bud expansion and germination, flowering, and percentage of growth of ornamental shrub shoots in 2005–2006

Вид	Начало раздвигания почечных чешуй вегетативных почек	Начало распускания вегетативных почек	Сроки цветения	% прироста побега на II декаду июня
1	2	3	4	5
<i>Группа зимне- и ранневесеннецветущих видов</i>				
<i>Jasminum nudiflorum</i>	II декада марта	III декада апреля	I декада января – I декада апреля	76
<i>Mahonia aquifolium</i>	I декада апреля	II декада апреля	I декада января – II декада мая	50
<i>Forsythia viridissima</i>	I декада апреля	II декада апреля	I декада марта – I декада мая	78
<i>Chaenomeles superba</i>	I декада февраля	II декада марта	I декада января – II декада мая	74
<i>Lonicera fragrantissima</i>	II декада марта	III декада марта	I декада января – II декада апреля	79
<i>Группа средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих видов</i>				
<i>Laburnum anagyroides</i>	I декада марта	II декада марта	III декада апреля – III декада мая	60
<i>Cotoneaster microphylla</i>	III декада января	I декада февраля	II декада мая – I декада июня	58
<i>Cotoneaster horizontalis</i>	I декада марта	III декада марта	I декада мая – III декада мая	40
<i>Cotoneaster glaucophyllus</i> 'Serotinus' Hutchins	III декада марта	I декада апреля	II декада мая – III декада июня	64
<i>Crataegus crus-galli</i>	III декада марта	II декада апреля	II декада мая – III декада мая	15

1	2	3	4	5
<i>Группа средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих видов</i>				
<i>Exochorda alberti</i>	I декада февраля	II декада февраля	II декада апреля – II декада мая	59
<i>Spiraea vanhottei</i>	II декада декабря	II декада февраля	II декада апреля – III декада мая	80
<i>Pyracantha coccinea</i>	I декада февраля	II декада февраля	III декада мая – I декада июня	71
<i>Группа летнецветущих видов</i>				
<i>Cotoneaster salicifolia</i>	I декада апреля	II декада апреля	I декада июня – II декада июля	74
<i>Symphoricarpos alba</i>	II декада марта	III декада марта	I декада июня – II декада июля	73
<i>Euonymus japonica</i>	III декада февраля	I декада марта	II декада июля – III декада июля	96
<i>Spartium junceum</i>	I декада апреля	II декада апреля	I декада июня – III декада июля	71
<i>Hibiscus syriacus</i>	II декада апреля	III декада апреля	III декада июля – III декада октября	74
<i>Deutzia scabra</i>	II декада марта	III декада марта	I декада июня – III декада июня	90

В группе средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих видов наиболее раннее распускание почек отмечено у побегов *Cotoneaster microphylla*, *Spiraea vanhutte*, *Exochorda alberti* в феврале, а более позднее – у побегов *Cotoneaster glaucophyllus serotinus* Hutchins, *Crataegus cruss-galli*, которое отмечено в апреле.

Группа летнецветущих представлена видами, у которых распускание вегетативных почек начинается в марте–апреле.

Интервал между этапами раздвигания и распускания почек у большинства видов составляет как в марте, так и апреле всего I декаду за исключением *Spiraea vanhutte*, *Cotoneaster horizontalis*.

Таблица 2

Морозостойкость побегов декоративных кустарников (% повреждения побегов), 2004–2005 гг.
Frost resistance of shoots of ornamental shrubs (% shoot damage), 2004–2005

Вид	Часть побега	07.12.04	10.01.05	07.02.05	21.02.05	21.03.05	14.04.05	Сред. % за два года, баллы
		-13 °C (15 ч)	-17 °C (15 ч)	-17 °C (20 ч)	-19 °C (12 ч)	-8 °C (15 ч)	-3 °C (16 ч)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Группа зимне- и ранневесеннецветущих видов</i>								
<i>Forsythia viridissima</i>	верх	0	0	0	60	60	100	2,5
	низ	0	0	0	30	50	0	1,0
<i>Mahonia aquifolium</i>	верх	0	0	0	40	0	80	1,2
	низ	0	0	0	30	0	0	0,3
<i>Chaenomeles superba</i>	верх	10	0	0	50	0	100	1,2
	низ	0	0	0	40	0	50	0,7
<i>Jasminum nudiflorum</i>	верх	0	0	0	20	0	0	1,0
	низ	0	0	0	0	0	50	1,2
<i>Lonicera fragrantissima</i>	верх	0	0	0	30	0	0	0,5
	низ	0	0	0	20	0	0	0,3
<i>Группа средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих видов</i>								
<i>Spiraea vanhottei</i>	верх	0	20	0	100	60	0	1,7
	низ	0	0	0	20	0	0	0,3

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Pyracantha coccinea</i>	верх низ	60 0	100 0	100 30	100 0	100 0	0 0	5,3 1,0
<i>Cotoneaster horizontalis</i>	верх низ	0 0	20 0	0 8	100 30	0 0	100 10	3,3 2,3
<i>Exochorda alberti</i>	верх низ	0 0	0 0	0 0	0 0	0 100	0 0	0 0,8
<i>Laburnum anagyroides</i>	верх низ	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
<i>Crataegus crus-galli</i>	верх низ	0 0	0 0	20 50	20 40	0 30	20 20	0 1,4
<i>Cotoneaster glaucophyllus</i> 'Serotinus' 'Hutchins'	верх низ	100 20	100 80	40 50	100 40	60 0	80 15	5,0 3,0
<i>Cotoneaster microphylla</i>	верх низ	100 10	100 20	0 40	100 100	0 0	100 50	4,0 2,6
<i>Группа летнецветущих видов</i>								
<i>Hibiscus syriacus</i>	верх низ	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
<i>Symphoricarpus alba</i>	верх низ	0 0	0 0	0 30	0 0	0 0	0 0	0,2 0,2
<i>Deutzia scabra</i>	верх низ	0 0	0 0	0 0	40 0	0 0	0 0	0,9 0
<i>Cotoneaster salicifolia</i>	верх низ	100 0	100 10	40 20	100 100	0 0	100 10	3,3 1,5

Интенсивность роста декоративных кустарников различных видов в 2005 г. представлена на рис. 1–3.

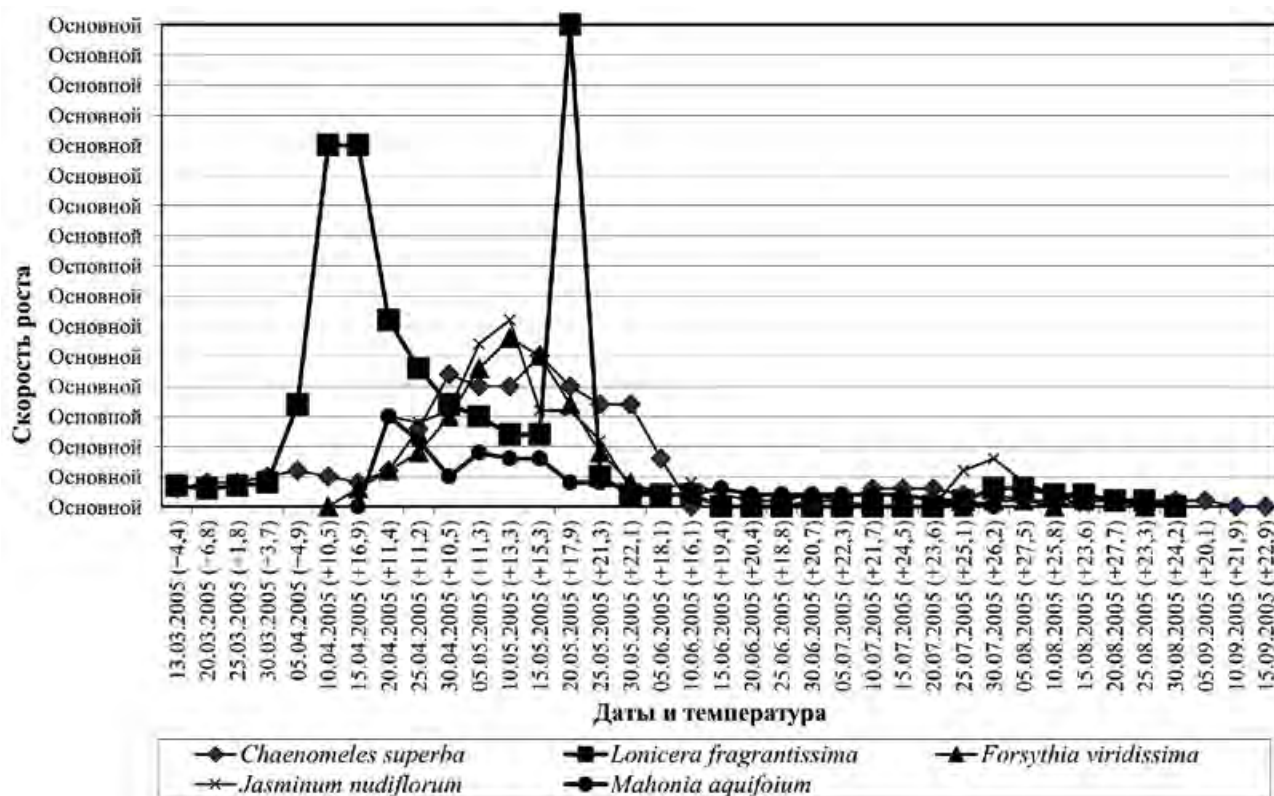


Рис. 1. Интенсивность роста зимне- и ранневесеннецветущих видов декоративных кустарников, мм/сут, 2005 г.

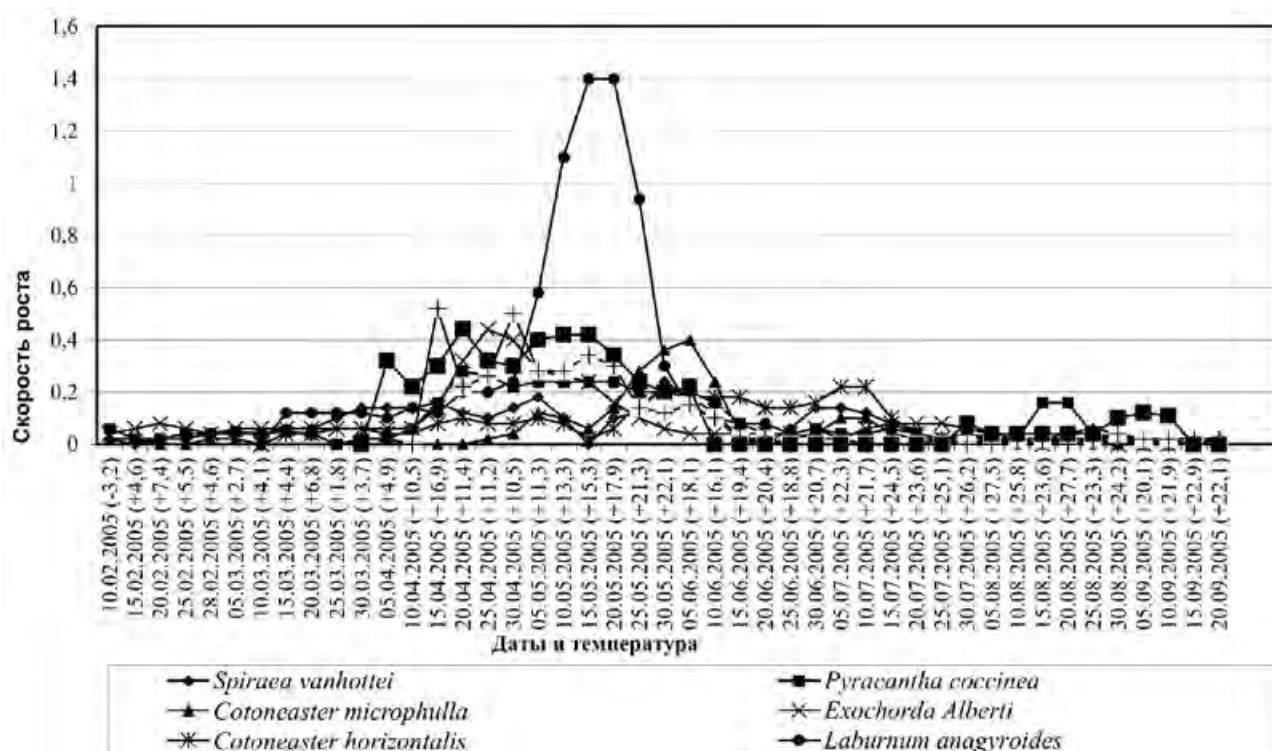


Рис. 2. Интенсивность роста побегов средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих видов декоративных кустарников, мм/сут, 2005

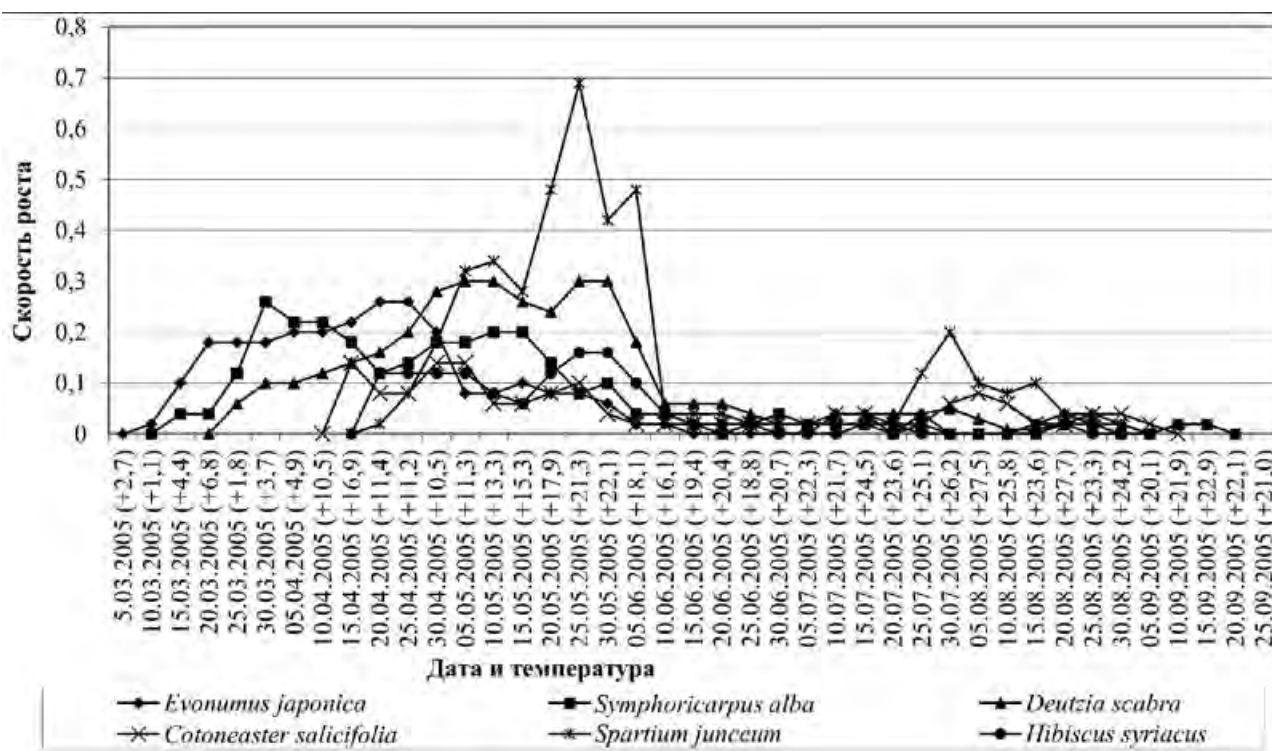


Рис. 3. Интенсивность роста побегов летнецветущих видов декоративных кустарников, мм/сут, 2005 г.

Динамика интенсивности роста побегов декоративных кустарников разных видов в 2006 г. представлена на рис. 4–6.

При сравнении интенсивности ростовых процессов у побегов в 2005 и в 2006 г. были выявлены как различия, так и общие закономерности. В 2006 г. виды с более высокой устойчивостью к низким температурам (*Crataegus cruss-galli*, *Exochorda alberti*) имели большую интенсивность роста по сравнению с другими видами и 2005 г.

Так, у *Laburnum anagyroides* интенсивность роста побегов отмечена с III декады апреля по III декаду мая, у *Exochorda alberti* с III декады марта по III декаду апреля, у *Spiraea vanhottei* с II декады апреля по III декаду мая.

В летний период (июль) наблюдается наиболее интенсивный рост у побегов *Cotoneaster horizontalis* (см. рис. 5).

У большинства кустарников в группе летнецветущих видов наибольшая интенсивность роста отмечена у побегов *Spartium junceum*, *Hibiscus syriacus*, *Symphoricarpus alba*, *Deutzia scabra*.

Согласно литературным данным, наибольшая интенсивность роста в условиях ЮБК у значительной части интродуцентов приходится на май–июнь. Это было подтверждено и нашими исследованиями, когда у большинства видов в вышеуказанные месяцы отмечалась очередная волна ростовых процессов [11].

Анализ показал, что к середине июня у всех видов группы зимне- и ранневесеннецветущих *Mahonia aquifolium*, *Forsythia viridissima*, *Chaenomeles speciose* прирост составил 50–79 % от общей длины побега на конец вегетационного периода. В группе средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих видов *Spiraea vanhottei*, *Cotoneaster horizontalis*, *Exochorda alberti*, *Crataegus cruss-galli*, *Laburnum anagyroides* прирост побегов составил 15–80 % от общей длины побега. В группе летнецветущих прирост побегов от общей длины побега колебался от 71 % у *Spartium junceum* до 96 % у *Euonymus japonica* (см. табл. 1).

Динамика ростовых процессов некоторых видов обладает большой интенсивностью в начале вегетации. Так, у *Jasminum nudiflorum*, *Lonicera fragrantissima* рост начинает активизироваться в III декаде марта – II декаде апреля. Это связано с поэтапной сменой зимнего цветения к стадии активной вегетации.

В 2005 г. максимальные показатели скорости роста отмечены только у побегов зимне- и ранневесеннецветущих видов у *Lonicera fragrantissima* 1,2 и 1,6 мм/сут в период с 30.03 по 20.04 и с 15.05 по 25.05, средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих видов *Laburnum anagyroides* 1,4 мм/сут с 30.04 по 10.06, летнецветущих видов *Spartium junceum*. 0,70 мм/сут с 15.04 по 10.06. Причину активного роста мы связываем с тем, что в 2005 г., согласно литературным данным, было стремительное повышение среднемесячных температур в период вегетации [15].

В 2006 г. самыми быстрорастущими видами среди зимне- и ранневесеннецветущих были *Mahonia aquifolium* – 0,38 мм/сут 30.03 по 10.05 и с 05.06 по 30.06, *Chaenomeles superba* – 0,48 мм/сут, среди средневесеннецветущих видов отмечены *Crataegus cruss – galli* – 0,60 мм/сут с 20.03 по 30.04, *Laburnum anagyroides* – 0,80 мм/сут с 30.04 по 25.05, *Spiraea vanhotti* – 0,95 мм/сут, среди летнецветущих *Spartium junceum* – 0,90 мм/сут с 20.04. по 05.06, *Cotoneaster salicifolia* – 1,35 мм/сут с 30.06 по 05.08. На наш взгляд, активному росту побегов данных видов способствовали колебания низких положительных температур на его начальном этапе. Это совпадает с результатами исследований В.А. Смирновой [16]. Согласно ее наблюдениям, было выявлено, что различие в температуре окружающей среды играет большую роль в изменении (ускорении или задержке) ростовых процессов и развитии растений.

В 2006 г. для побегов большинства видов всех групп цветения характерна большая интенсивность роста и максимальная длина побегов была больше, чем в 2005 г., за исключением *Laburnum anagyroides* – 1,4 мм/сут.

В течение всего периода исследований у кустарников разных групп цветения окончание роста побегов наблюдалось в I декаде августа – I декаде сентября, несмотря на вторую волну роста, которая отмечена после июльской засухи.

Вторая волна роста отмечена у побегов *Lonicera fragrantissima*, *Mahonia aquifolium*, *Forsythia viridissima*, *Jasminum nudiflorum*, *Cotoneaster salicifolia*, *Spartium junceum*, *Cotoneaster horizontalis*, *Cotoneaster glaucophyllus* 'Serotinus' Hutchins., *Symphoricarpus alba*.

Скорость роста побегов во время второй волны роста, как правило, не превышала 0,2 мм/сут. Такая особенность роста связана с неравномерностью изменения средней подекадной температуры воздуха. Так, в 2005 г. в начале августа температура была выше +25 °С, а в последующие декады она опустилась до +21 °С. В 2006 г. был отмечен рост температуры до +29,3 °С, в дальнейшем также с понижением до +21,6 °С (рис. 1–6).

В группе зимне- и ранневесеннецветущих в 2006 г. у большинства видов рост побегов не прекращался почти до конца вегетации и при самых низких показателях составлял 0,02мм/сут, т.е. окончательно не останавливался.

Продолжительность основного периода роста, не считая вторичного, у видов всех групп цветения в 2006 г. была одинаковая – 12 декад, в 2005 г. у видов группы зимне- и ранневесеннецветущих, а также средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих – 7 декад, а у летнецветущих – 12 декад.

Такая особенность в 2005 г. у летнецветущих видов, на наш взгляд, связана с подекадными температурами, которые в период роста были выше на 3–4 °С по сравнению с 2006 г.



Рис. 4. Интенсивность роста побегов зимне- и ранневесеннецветущих видов декоративных кустарников, мм/сут, 2006 г.

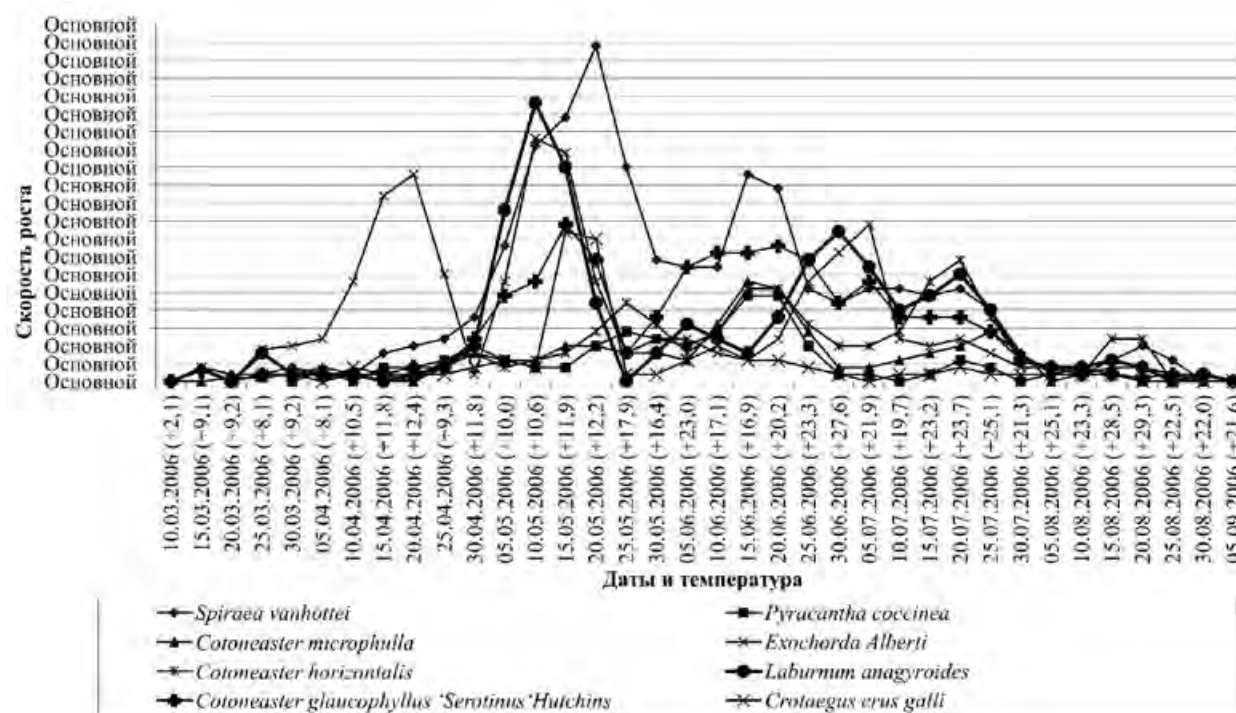


Рис. 5. Интенсивность роста побегов средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих видов декоративных кустарников, мм/сут, 2006 г.

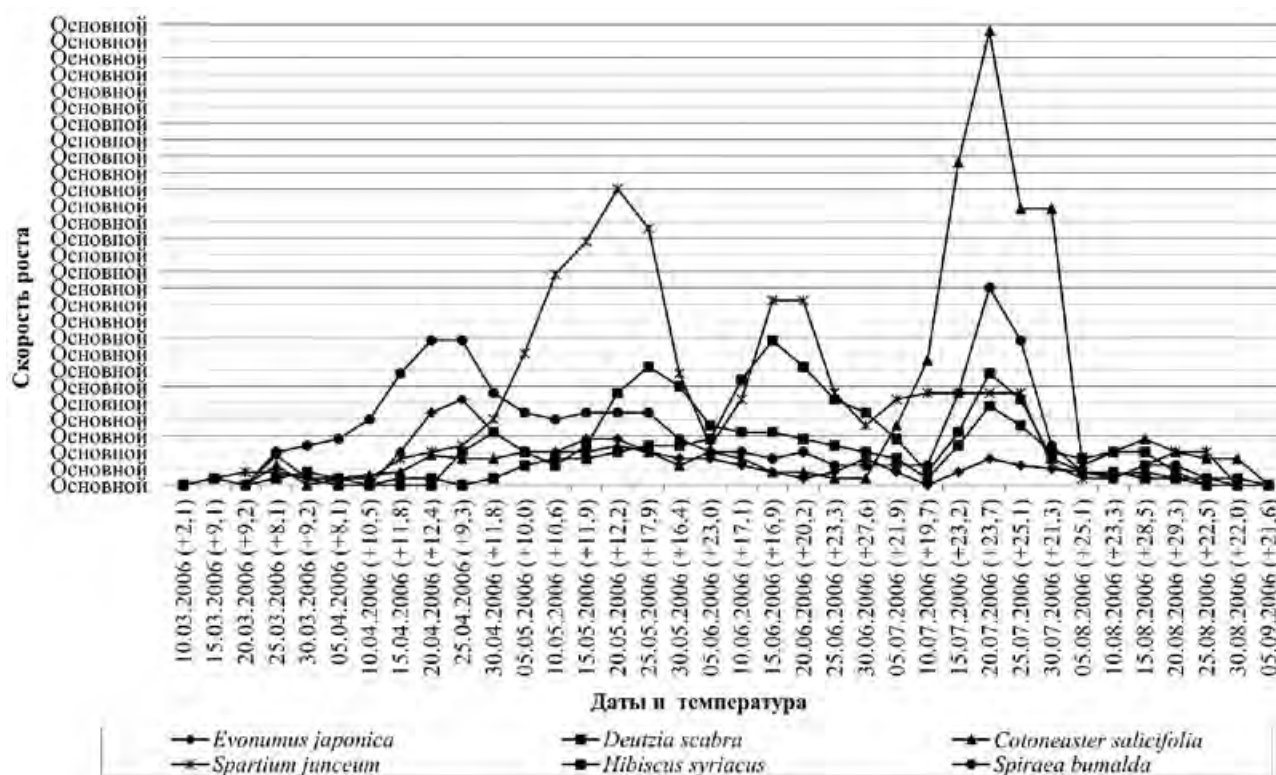


Рис. 6. Интенсивность роста побегов летнецветущих видов декоративных кустарников, мм/сут, 2006 г.

Для группы летнецветущих видов характерен короткий временной период между сроками раздвигания вегетативных почек и их распускания. Подобная особенность встречается у некоторых видов и в других группах (*Lonicera fragrantissima*, *Forsythia viridissima*, *Pyracantha coccinea*, *Exochorda alberti*).

В этот период в группе летнецветущих видов начинается интенсивный рост побегов, что связано с подекадными скачками температур. У самых активных видов в 2005 г. скорость роста на начальном этапе была небольшой. Так, у *Spartium junceum* она составила 0,01 мм/сут, а у *Cotoneaster salicifolia* – 0,12 мм/сут. В 2006 г. у *Spartium junceum* – 0,10 мм/сут, у *Cotoneaster salicifolia* – 0,15 мм/сут.

Анализируя подекадные значения температур в течение вегетации на протяжении всего 2006 г., можно отметить, что их показатели в начальный период вегетации были на 4–5° выше, что способствовало активизации ростового процесса у большинства видов.

Еще одной особенностью развития побегов можно назвать резкое падение скорости роста в различные периоды с апреля по июль. Падение ростовой активности, возможно, связано с перераспределением запасных питательных веществ из-за резкого изменения температур: весной из-за понижения температур, а летом – из-за повышения, что позволяет растениям защитить себя от засушливых условий. Так, среднее значение температур во время понижения роста было отмечено 25.04 (+9,3 °C), 25.05 (+17,9 °C), 30.06 (+27,6 °C), 05.08 (+25,1 °C).

Проведенный анализ результатов исследования динамики роста и развития кустарников разных видов показал, что скорость роста побегов значительно отличалась по годам. Такую особенность мы также связываем с разными показателями средних значений температур в зависимости от года.

Как известно, особенности температурного режима (диапазон температур) влияют на характер роста побегов, в связи с этим нами была проанализирована ростовая активность взятых видов. Так, некоторые зимостойкие виды проявляют активный рост, когда среднее значение температур составляет +11...+18 °C (*Forsythia viridissima*, *Chaenomeles speciose*, *Mahonia aquifolium*, *Spiraea vanhottei*, *Laburnum anagyroides*). По нашему мнению, это указывает на то, что данные виды под

влиянием определенного продуктивного, т. е. способствующего росту диапазона положительных температур достигают пика своего роста для последующего его снижения и постепенного распределения необходимых запасных веществ в тканях. Это повышает адаптационный потенциал выбранных нами декоративных кустарников, что позволяет расширить их ресурсный потенциал для возобновления развития в условиях ЮБК.

Кроме того, интересен характер колебания значений температур в период роста побегов, который также, наряду с диапазоном температур, влияет на ростовую активность в период вегетации.

Так, в период всего исследования, в 2005–2006 гг., со II декады апреля по III декаду мая повышение температуры от +5 до +13 °C приводит к активному росту представителей группы зимне- и раннецветущих видов: *Jasminum nudiflorum*, *Lonicera fragrantissima*, *Chaenomeles speciose*.

На наш взгляд, начало роста (III декада марта) у побегов *Jasminum nudiflorum*, *Lonicera fragrantissima* зависит не только от перехода цветения к стадии активной вегетации, но и от нестабильного характера температур, как в сторону повышения, так и в сторону понижения их значений, что было отмечено в 2006 г. (см. рис. 4). На динамику роста побегов таких видов, как *Forsythia viridissima*, *Mahonia aquifolium*, влияние оказывало понижение температур на 2–3 °C.

В группе средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих видов ростовую активность проявили побеги *Exochorda alberti*, *Spiraea vanhouttei*, когда наблюдался рост температурных значений в пределах 3–5 °C. Установленные температурные колебания отмечены с III декады марта по II декаду июня с повторной волной роста, которая длилась до II декады июля. Кроме того, во время вегетационного периода отмечены от четырех до пяти волн роста у *Spiraea vanhouttei*, *Laburnum anagyroides*, *Exochorda alberti*. Указанные виды являются наиболее устойчивыми к низким температурам.

В группе летнецветущих видов в период наиболее активного роста побегов у *Deutzia scabra*, *Symphoricarpus alba*, *Hibiscus syriacus* характер изменения температур в 2005 г. составил 1–5 °C. В 2006 г. данные изменения составили 3–7 °C, когда ростовая активность наблюдалась в разные периоды вегетации. У побегов *Spartium junceum*, *Deutzia scabra* (II декада апреля – I декада июня), а у *Cotoneaster salicifolia*, *Spiraea bumalda* (III декада июня – I декада августа).

Наряду с вегетацией прослежена взаимосвязь устойчивости видов от продолжительности их сроков цветения. Если принять во внимание, что процесс цветения – это один из этапов развития, то характер его продолжительности часто сказывается на качестве прохождения всех стадий. Наиболее выражены сроки цветения у группы средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих видов. Так, у большинства наиболее устойчивых видов продолжительность составила одну декаду у *Crataegus cruss-galli*, три декады у *Exochorda alberti* (II декада апреля – II декада мая) и четыре декады у *Spiraea vanhouttei*, *Laburnum anagyroides* (II декада апреля – III декада мая), в группе зимне- и ранневесеннецветущих у *Forsythia viridissima* семь декад (I декада марта – I декада мая).

Основываясь на полученных результатах, мы предположили, что интенсивность ростовых процессов на завершающем этапе у большинства исследуемых видов не может быть фактором ограничения для их своевременной адаптации к неблагоприятным факторам среды в зимне-весенний период года. Это связано с тем, что к осени, с замедлением ростовых процессов, декоративные кустарники в почках и побегах накапливают запасные вещества, в побегах происходит накопление крахмала.

При недостатке запасных веществ во время формирования цветочных элементов в почках под влиянием низких температур почки и побеги имеют различную степень повреждения [17].

Выявлено, что степень повреждения почек и побегов у большинства видов декоративных кустарников, разных по устойчивости и срокам цветения, не имели существенных повреждений.

К примеру, как в контроле, так и при закалке, в опыте, почки и побеги *Mahonia aquifolium*, *Cotoneaster microphylla*, *Exochorda alberti*, *Laburnum anagyroides*, *Spartium junceum*, *Euonymus japonica*, *Symphoricarpus alba*, *Hibiscus syriacus* не имели повреждений (см. табл. 3).

**Процент повреждения почек и побегов декоративных кустарников под влиянием
различных температурных условий, октябрь 2005 г.
Percentage of damage to buds and shoots of ornamental shrubs under the influence of various temperature
conditions, October 2005**

Вид	Орган	Варианты опыта	
		1-й вариант (контроль)	2-й вариант (закалка)
		0 °С – 2 ч	0 °С – 2 ч, и -2 °С 6 ч
1	2	3	4
<i>Группа зимне- и ранневесеннецветущих видов</i>			
<i>Mahonia aquifolium</i>	Вегет. почки	0	0
	Генер. почки	0	0
	Побег	0	0
<i>Chaenomeles speciose</i>	Вегет. почки	16,6	0
	Генер. почки	100	14,2
	Побег	60	0
<i>Forsythia viridissima</i>	Вегет. почки	0	0
	Генер. почки	63,1	47,8
	Побег	0	0
<i>Jasminum nudiflorum</i>	Вегет. почки	0	0
	Генер. почки	2,5	2,3
	Побег	0	0
<i>Lonicera fragrantissima</i>	Вегет. почки	0	0
	Генер. почки	25	0
	Побег	0	0
<i>Группа средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих видов</i>			
<i>Cotoneaster microphylla</i>	Вегет. почки	0	0
	Генер. почки	0	0
	Побег	0	0
<i>Pyracantha coccinea</i>	Вегет. почки	75,0	0
	Побег	0	0
<i>Группа средневесеннецветущих и поздневесеннецветущих видов</i>			
<i>Exochorda alberti</i>	Вегет. почки	0	0
	Генер. почки	0	0
	Побег	0	0
<i>Crataegus crus-galli</i>	Вегет. почки	11,76	0
	Генер. почки	0	0
	Побег	0	0
<i>Spiraea vanhottei</i>	Вегет. почки	40,0	0
	Генер. почки	3,8	0
	Побег	0	0
<i>Cotoneaster glaucophyllus</i> <i>'Serotinus' Hutchins</i>	Вегет. почки	15,7	0
	Генер. почки	–	0
	Побег	50,0	0
<i>Laburnum anagyroides</i>	Вегет. почки	0	0
	Генер. почки	0	0
	Побег	0	0
<i>Cotoneaster horizontalis</i>	Вегет. почки	2,2	0
	Генер. почки	2,2	0
	Побег	80,0	10
<i>Группа летнецветущих видов</i>			
<i>Spartium junceum</i>	Вегет. почки	0	0
	Побег	0	0

1	2	3	4
<i>Deutzia scabra</i>	Вегет. почки Побег	41,2 0	1,8 1,8
<i>Euonymus japonica</i>	Вегет. почки Генер. почки Побег	0 0 0	0 0 0
<i>Symphoricarpus alba</i>	Вегет. почки Побег	0 0	0 0
<i>Cotoneaster salicifolia</i>	Вегет. почки Побег	28,5 0	18,4 0
Группа летнецветущих видов			
<i>Spiraea bumalda</i>	Вегет. почки Побег	10,4 0	0 0
<i>Hibiscus syriacus</i>	Вегет. почки Побег	0 0	0 0

У некоторых видов при визуальном осмотре процент повреждения генеративных почек и побегов в группе зимне- и ранневесеннецветущих достаточно высок. Так, в обоих вариантах у *Forsythia viridissima* он составляет 63,1 и 47,8, а у *Chaenomeles speciose* – 100 и 14,2 % (см. табл. 3).

Чем менее развиты почки, тем выше степень повреждения. Повреждение вегетативных почек и побегов у средне- и поздневесенних, а также летнецветущих видов, вероятно, вызвано задержкой внутренней метаболической адаптации, когда ассимиляты еще не в полной мере перенаправлены на накопление в тканях в качестве запасных веществ. Хорошо это показано на примере вегетативных почек *Pyracantha coccinea*. У данного вида повреждение составило 75 %. Кроме того, высокий процент повреждения побега отмечен у *Cotoneaster horizontalis*: 80 %. В группе летнецветущих для некоторых видов характерно повреждение вегетативных почек не только в контроле, но и в опыте, хотя при закалочных температурах оно было незначительным: *Deutzia scabra* в контроле 41,2 %, а в опыте 1,8 %, *Cotoneaster salicifolia* в контроле 28,5 %, в опыте 18,4 %.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Динамика роста и развития кустарников разных сроков цветения в благоприятный период года идет неравномерно, что влияет на адаптационные процессы. Характер изменения температур затормаживает или ускоряет рост побегов. На динамику роста побегов у таких видов, как *Forsythia viridissima*, *Mahonia aquifolium*, влияние оказывало понижение температур на 2–3 °С, что способствует активизации роста. Для устойчивых видов во время вегетационного периода отмечено от четырех до пяти волн роста у *Spiraea vanhouttei*, *Laburnum anagyroides*, *Exochorda alberti*. В литературе описываются особенности роста *Mahonia aquifolium* в зависимости от условий среды, в частности от изменения температурных условий в течение вегетации у нее отмечено 2–3 волны ростовой активности [8, 9].

Анализируя развитие побегов по годам, можно отметить, что характер роста в разные года будет иметь отличия. Одним из примеров является скорость роста на начальном этапе. К примеру, в 2005 г. у *Spartium junceum* она составила 0,01 мм/сут, а у *Cotoneaster salicifolia* – 0,12 мм/сут. В 2006 г. у *Spartium junceum* – 0,10 мм/сут, у *Cotoneaster salicifolia* – 0,15 мм/сут. Скорость роста побегов описывается в литературе как важный фактор вызревания тканей побегов [18].

Ростовая активность на завершающем этапе у большинства исследуемых видов не влияет на своевременную адаптацию к неблагоприятным условиям среды в зимне-весенний период года, что связано с физиолого-биохимической перестройкой в тканях побегов, в том числе и накоплением к осени запасных веществ. Большую помощь в адаптации большинства видов играет то, что при понижении положительных температур осенью побеги начинают замедлять свой рост.

Своевременное накопление в тканях побегов запасных веществ способствует переходу запасных в защитные вещества в низкотемпературный период года [19].

ВЫВОДЫ

1. Наиболее интенсивный рост побегов у декоративных кустарников всех групп цветения наблюдается с марта по июнь.
2. Установлено, что двухступенчатая закалка однолетних побегов (0 °С, 2 ч и -2 °С 6 ч) снижает процент повреждений генеративных почек и побегов по сравнению с одноступенчатой закалкой (0 °С, 2 ч) у ряда видов: *Chaenomeles speciose*, *Forsythia viridissima*, *Cotoneaster glaucophyllus* 'Serotinus' Hutchins, *Cotoneaster horizontalis*.
3. Анализ температурной устойчивости декоративных кустарников позволяет подобрать посадочный материал для выращивания в условиях субаридных средиземноморских субтропиков (ЮБК), а предлагаемый способ закалики – минимизировать повреждения почек и побегов при критически низких температурах, характерных для территории данной климатической области.
4. Для повышения устойчивости посадочного материала декоративных кустарников рекомендуется проводить в осенний период двухступенчатую закалку (0 °С, 2 ч и -2 °С 6 ч).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коробова Н.К. Изменения структуры тканей растения под действием внешних факторов. – М., 2006. – 300 с.
2. Бабарыкина И.В. Закономерность сезонного роста побегов древесных растений в лесостепи юга Западной Сибири в условиях промышленного города: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Омск, 2006 – 17 с.
3. Гончарова Э.А. Экологическая физиология растений в помощь селекции и растениеводству // Роль физиолого-биохимического исследования в селекции овощных культур: мат-лы науч.-практ. конф., Москва, 28 февр. 2007 г. – М., 2007 – С. 39–41.
4. Куперман Ф.М. Морфофизиология растений. Морфофизиологический анализ этапов органогенеза различных жизненных форм покрытосемянных растений. – М., 1984. – 280 с.
5. Половникова Г.М. Экофизиология стресса. – Йошкар-Ола, 2010. – 112 с.
6. Белкин Н.И. Зимостойкость растений. – Кишинев, 1961. – 125 с.
7. Бонюк З.Г. Итоги интродукции видов рода *Spiraea* L. // Биологическое разнообразие. Интродукция растений: мат-лы третьей международной науч. конференции. – СПб., 2003. – С. 158–159.
8. Кузнецовский М.Н. Особенности развития древесных растений при интродукции на юго-восток России. – М., 2008. – 280 с.
9. Плотникова Л.С. Развитие древесных растений в ГБС в связи с особенностями погодных условий весны 1999 и 2000 гг. // Бюллетень Главного ботанического сада. – 2001. – Вып. 182. – С. 3–6.
10. Соколова Т.А. Декоративное растениеводство. – М., 2010. – 240 с.
11. Браилко В.А. Особенности роста побегов рода *LONICERA* L. в условиях интродукции на Южном берегу Крыма (ЮБК) // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Сер. Биология, химия. – 2013. – Т. 26 (65), № 2. – С. 10–17.
12. Глазурина А.И. Устойчивость к засухе и зимостойкость некоторых декоративных деревьев и кустарников при их интродукции на Южный берег Крыма: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Одесса, 1966. – 30 с.
13. Румишский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента: справ. руководство. – М., 1971. – 192 с.
14. Физиологические и биофизические методы в селекции плодовых культур / Т.С. Елманова, А.И. Лищук, Ю.В. Иващенко [и др.]. – М., 1991. – 38 с.
15. Корсакова С.П. Обзор стихийных гидрометеорологических явлений в районе Никитского ботанического сада // Практические итоги работы с дикорастущими и культурными растениями: сб. науч. тр. Государственного Никитского ботанического сада. – 2014. – Т. 139. – С. 79–93.
16. Смирнова В.А. Зимостойкость и морозостойкость древесных растений Белоруссии. – Минск, 1968. – 358 с.
17. Клавишников Д.В. Методы исследований при изучении адаптации растений. – М., 2007. – 30 с.
18. Кавылин М.Р. Характер развития растений в условиях степной зоны Нечерноземья. – Воронеж, 2010. – 230 с.
19. Петухов И.Д. Рост – основа жизни растений. – Ростов н/Д, 2020. – 184 с.

REFERENCES

1. Korobova N.K., *Izmeneniya struktury tkanej rasteniy pod dejstviem vneshnih faktorov* (Changes in the structure of plant tissues under the influence of external factors), Moscow, 2006, 300 p.
2. Babarykina I.V., *Zakonomernost' sezonnogo rosta pobegov drevesnyh rastenij v lesostepi yuga Zapadnoj Sibiri v usloviyah promyshlennogo goroda* (The pattern of seasonal growth of shoots of woody plants in the forest-steppe of the south of Western Siberia in an industrial city), Abstract Dissertation of the candidate biol. Nauk, Omsk, 2006, 17 p.

3. Goncharova E.A., *Rol' fiziologo-biohimicheskogo issledovaniya v selekcii ovoshchnykh kul'tur* (The role of physiological and biochemical research in vegetable crop breeding), Proceedings of the scientific and practical conference, Moscow, 2007, pp. 39–41. (In Russ.)
4. Kuperman F.M., *Morfofiziologiya rastenij. Morfofiziologicheskij analiz etapov organogeneza razlichnykh zhiznennykh form pokrytosemyannykh rastenij* (Morphophysiology of plants. Morphophysiological analysis of the stages of organogenesis of various life forms of angiosperms), Moscow, 1984, 280 p.
5. Polovnikova G.M., *Ekofiziologiya stressa* (Ecophysiology of stress), Yoshkar-Ola, 2010, 112 p.
6. Belkin N.I., *Zimostojkost' rastenij* (Winter hardiness of plants), Kishinev, 1961, 125 p.
7. Bonyuk Z.G., *Biologicheskoe raznoobrazie. Introdukciya rastenij* (Biological diversity. Plant introduction), Proceedings of the Third International Scientific Conference, Sankt-Petersburg, 2003, pp. 158–159. (In Russ.)
8. Kuznetsovsky M.N., *Osobennosti razvitiya drevesnykh rastenij pri introdukcii na yugo-vostok Rossii* (Features of the development of woody plants during introduction to the South-east of Russia), Moscow, 2008, 280 p.
9. Plotnikova L.S., *Bulletin of the Main Botanical Garden*, 2001, Issue 182, pp. 3–6. (In Russ.)
10. Sokolova T.A., *Dekorativnoe rastenievodstvo* (Decorative crop production), Moscow, 2010, 240 p.
11. Brailko V.A., *Scientific notes of the Taurida National University. The series "Biology, chemistry"*, 2013, Vol. 26(65), No. 2, pp. 10–17. (In Russ.)
12. Glazurina A.I., *Ustojchivost' k zasuhe i zimostojkost' nekotorykh dekorativnykh derev'ev i kustarnikov pri ih introdukcii na Yuzhnogo berega Kryma* (Drought resistance and winter hardiness of some ornamental trees and shrubs during their introduction on the Southern coast of Crimea: abstract), Dissertation of the candidate. biol. Sciences, Odessa, 1966, 24 p.
13. Rumshitskiy L.Z., *Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov eksperimenta* (Mathematical processing of experimental results), Moscow, 1971, 192 p.
14. Elmanova T.S., Lischuk A.I., Ivashchenko Yu.V. [et al.], *Fiziologicheskie i biofizicheskie metody v selekcii plodovykh kul'tur* (Physiological and biophysical methods in fruit crop breeding), Moscow, 1991, 38 p.
15. Korsakova S.P., *Prakticheskie itogi raboty s dikorastushchimi i kul'turnymi rasteniyami* (Practical results of work with wild and cultivated plants), Collection of scientific papers of the Nikitsky State Botanical Garden, 2014, Vol. 139, pp. 79–93. (In Russ.)
16. Smirnova V.A., *Zimostojkost' i morozostojkost' drevesnykh rastenij Belorussii* (Winter hardiness and frost resistance of woody plants of Belarus), Minsk, 1968, 358 p.
17. Klavishnikov D.V., *Metody issledovaniy pri izuchenii adaptatsii rastenij* (Research methods in the study of plant adaptation), Moscow, 2007, 30 p.
18. Kavylin M.R., *Harakter razvitiya rastenij v usloviyakh stepnoj zony Nechernozem'ya* (The nature of plant development in the steppe zone of the Non-Chernozem region), Voronezh, 2010, 230 p.
19. Petukhov I.D., *Rost – osnova zhizni rastenij* (Growth is the Basis of Plant Life), Rostov-na-Donu, 2020, 184 p.

Информация об авторах:

Д.А. Сакович, аспирант

С.Х. Вышегуров, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Contribution of the authors:

D.A. Sakovich, Postgraduate Student

S.Kh. Vyshegurov, DSc in Agricultural Sciences, professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ СКРИНИНГ ГЕНОВ *FaFAD1* И *FanAAMT* АРОМАТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПЛОДОВ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

А.В. Худякова

Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск, Россия

E-mail: a.khudyakova@udman.ru

Для цитирования: Худякова А.В. Молекулярный скрининг генов *FaFAD1* и *FanAAMT* ароматического комплекса плодов земляники садовой // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 78–86. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-78-86.

Реферат. Содержание летучих соединений в землянике оказывает значительное влияние на вкус и аромат ягод. Большинство компонентов ароматического комплекса плодов земляники контролируется полигенно, в то время как биосинтез γ -декалактона и метилового эфира антраниловой кислоты контролируются доминантными генами *FaFAD1* и *FanAAMT*. В данном исследовании представлены результаты молекулярно-генетического анализа сортообразцов земляники садовой коллекции отдела интродукции и акклиматизации растений Удмуртского федерального исследовательского центра УрО РАН для выявления генотипов, перспективных для селекции на аромат плодов. В качестве биологических объектов использовали 34 сортообразца *Fragaria* $\times$ *ananassa* Duch различного эколого-географического происхождения. Идентификацию аллелей генов *FaFAD1* и *FanAAMT* проводили методом полимеразной цепной реакции с использованием соответствующих доминантных ДНК-маркеров. Функциональный аллель гена *FaFAD1* выявлен у 26,5 % изучаемых генотипов: четырех сортообразцов отечественной селекции (Акварель, Даренка, Красная пчелка, Сударушка) и пяти – зарубежной (Cabrillo, Cisojee, Corona, Malling Pandora, Murano). Ген *FanAAMT* детектировали у шестнадцати сортообразцов, что составило 47,1 % от общей выборки. Среди идентифицированных генотипов девять относились к сортам отечественной селекции (Алтын, Гордость Урала, Даренка, Любаша, Первоклассница, Торпеда, Фестивальная, Фейерверк, Царица) и семь – к зарубежной (Cabrillo, Cisojee, Kimberly, Malling Pandora, Marmion, Olvia, Salsa). Проведен анализ родословных сортов, содержащих гены ароматического комплекса плодов земляники. Среди изученной коллекции наличием двух функциональных аллелей генов характеризовались сорта Даренка, Cabrillo, Cisojee, Malling Pandora, что составило 11,8 % сортообразцов. Эти генотипы являются наиболее перспективными для использования в селекционной программе на аромат плодов.

Ключевые слова: *Fragaria* $\times$ *ananassa*, ароматность, γ -декалактон, метилантранилат, ген, ДНК-маркер, ПЦР, ДНК.

MOLECULAR SCREENING OF THE *FAFAD1* AND *FANAAMT* GENES OF THE STRAWBERRY FRUIT AROMATIC COMPLEX

A.V. Khudyakova

Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

E-mail: a.khudyakova@udman.ru

Abstract. The content of volatile compounds in strawberries has a significant effect on the taste and fruit flavor. Most of the components of the strawberry fruit aromatic complex are controlled polygenically, while the biosynthesis of γ -decalactone and anthranilic acid methyl ester is controlled by the dominant *FaFAD1* and *FanAAMT* genes. This study presents the results of a molecular genetic analysis of strawberry cultivars from the collection of the Department of plant introduction and acclimatization of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences to identify genotypes promising for fruit flavor breeding. 34 cultivars from the *Fragaria* $\times$ *ananassa* Duch collection of various ecological and geographical origin were used as biological objects. Allelic diversity of the *FaFAD1* and *FanAAMT* genes were identified by polymerase chain reaction using the corresponding dominant DNA markers. The functional allele of the *FaFAD1* gene was detected in 26.5 % of the genotypes studied: 4 varieties of Russian cultivars (Akvar'el', Darenka, Sudarushka, Krasnaya pchelka) and 5 – foreign (Cabrillo, Cisojee, Corona, Malling Pandora, Murano). The *FanAAMT* gene was detected in 16 cultivars, which accounted for 47.1 % of the total sample. Among the identified genotypes, 9 belonged to Russian cultivars (Altyn, Gordost' Urala, Darenka, Lyubasha, Pervoklassnitsa, Torpeda, Festival'naya, Feyerverk, Tsaritsa) and 7 to foreign varieties (Cabrillo, Cisojee, Kimberly, Malling Pandora, Marmion, Olvia, Salsa). The analysis of pedigrees of varieties with identified genes of the fruit aromatic complex of strawberry has been carried out. Among the studied collection, the content of two functional gene alleles was characterized by the varieties

Darenka, Cabrillo, Cisojee, Malling Pandora, which amounted to 11.8 % of the cultivars. It is these genotypes that are the most promising for use in the fruit flavor breeding program.

Keywords: *Fragaria* × *ananassa*, fruit flavor, γ -decalactone, methylanthranilate, gene, DNA-marker, PCR, DNA.

В настоящее время земляника садовая (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) является одним из лидеров среди ягодных культур по занимаемым площадям в мире и вызывает большой интерес в среде агроспециалистов [1, 2]. На ее долю приходится более 70 % общемирового производства ягод. Потребительский рынок предъявляет повышенные требования к качеству ягодной продукции. Помимо высокой урожайности и устойчивости к неблагоприятным факторам важными показателями сорта являются величина, внешний вид ягоды и ее вкусовые качества [3].

По данным некоторых исследований, вкусовые качества многих фруктов и ягод, включая землянику, ухудшились из-за традиционных методов селекции, направленных на улучшение количественных показателей [4, 5]. Поэтому выведение сортов с улучшенными органолептическими свойствами становится одним из основных селекционных приоритетов для многих стран, производящих землянику.

Вкус и аромат плодов земляники обусловлены главным образом сочетанием сахаров, кислот и летучих органических соединений [6, 7]. Для этой культуры идентифицировано свыше 360 химических веществ, участвующих в формировании аромата плодов [8, 9]. Из них только около 20 основных летучих соединений доминируют в типичном аромате земляники [10]. Так, например, сложные эфиры (метилбутаноат, метилгексаноат, этилбутаноат и этилгексаноат) придают фруктовый аромат спелой землянике, альдегиды (гексаналь и (Е)-гекс-2-енал) отвечают за зеленые и травянистые нотки, фураноны (фуранеол и мезифуран) придают сладкий карамельный, а лактоны (γ -декалактон) – персикоподобный сладкий аромат [11].

Генетическое детерминирование аромата плодов земляники изучено недостаточно [12]. Известно, что биосинтез большинства летучих ароматобразующих соединений контролируется полигенно. Однако для некоторых соединений, таких как мезифуран [13], γ -декалактон [14], метиловый эфир антралиновой кислоты (метилантранилат) [15], выявлены доминантные гены, вносящие основной вклад в формирование признака.

Наличие или отсутствие γ -декалактона в ягодах земляники контролируется геном *FaFAD1*, кодирующим десатуразу омега-6 жирных кислот [16]. Показано, что количество γ -декалактона тесно связано с уровнем экспрессии функционального аллеля *FaFAD1* [18]. При блокировке транскрипции мРНК гена *FaFAD1* или отсутствии активного аллеля γ -декалактон в плодах не продуцируется. Для идентификации данного признака был разработан диагностический ДНК-маркер, который может применяться в программах маркер-опосредованной селекции.

Главной генетической детерминантой, определяющей содержание метилантранилата в плодах земляники, является ген *FanAAMT*, кодирующий фермент метилтрансферазу антралиновой кислоты [12]. Репрессия транскрипта гена *FanAAMT* приводит к практически полному ингибированию синтеза метилантранилата. На формирование признака также оказывают влияние условия окружающей среды, однако вклад генотипа, а именно наличие и экспрессия гена *FanAAMT*, преобладает [5, 18].

Цель исследования – молекулярно-генетический анализ сортообразцов земляники для выявления генотипов, перспективных для селекции на аромат плодов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для генетического анализа использовали тотальную ДНК 34 сортообразцов земляники садовой коллекции отдела интродукции и акклиматизации растений Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук различного эколого-географического происхождения (табл. 1).

Анализируемые сорта земляники садовой и их происхождение
Analyzed strawberry varieties and their origin

Сорт	Происхождение
Акварель	Арника × Горноуктусская
Алтын	Соловушка × Marmolada
Бова	Арника × Торпеда
Виола	Zefyr × Фестивальная
Гордость Урала	Нет доступной информации
Даренка	Фестивальная × Русановка
Дуэт	Талка × Ostara
Италмас	Фестивальная × Stoplight
Карамель	Нет доступной информации
Красная пчелка	Нет доступной информации
Любаша	Нет доступной информации
Настя	Нет доступной информации
Орлец	Заря × Stoplight
Первоклассница	Фея × Торпеда
Соловушка	Сюрприз Олимпиаде × Фестивальная ромашка
Сударушка	Фестивальная × Roxana
Торпеда	Фестивальная × Robinson
Фестивальная	Обильная × Premier
Фейерверк	SengaSengana × Redcoat
Форсаж	Соловушка × Totem
Царица	Venta × RedGauntlet
Ярославна	Дуэт × Десна
BlackPrince	Elvira × Coral
Cabrillo	Нет доступной информации
Cisojee	Selva × Rim
Kimberly	Gorella × Chandler
Korona	Tamella × Induka
MallingPandora	Merton Dawn × (Von Humboldt x Redstar)
Malwina	Софи × (Schimmelpfeng × Weihenstefan)
Marmion	Нет доступной информации
Murano	R6R1-26 × A030-12
Olvia	Фестивальная × F1 FragariaVirginiana
Salsa	Elsanta × Honey
Sonsation	Нет доступной информации

Экстракцию тотальной ДНК земляники проводили с использованием набора «МагноПрайм® ФИТО» согласно инструкции производителя (ООО «НекстБио», Москва).

Для идентификации аллелей генов *FaFAD1* и *FanAAMT* использовали соответствующие ДНК-маркеры (табл. 2).

Таблица 2

ДНК-маркеры, используемые для скрининга земляники садовой
DNA markers used for molecular screening of strawberry

Маркер	Нуклеотидная последовательность праймеров	Размер ампликонов, п.н.	Литературный источник
FaFAD1	F: 5'-cgggattaatggtttgtgttgaccgacc-3'	500	Chambersetal., 2014
	R: 5'-gtagaagagagagaccaa gacgag-3'		
FanAAMT	F: 5'-gggattgaatgcaattgtctattttgcctttttctgta-3'	350, 1500	Pilletetal., 2017
	R: 5'-gaacactagcatccaatcca-3'		

ПЦР проводили в реакционной смеси объемом 15 мкл, содержащей 20 нг геномной ДНК, 1X буфер для Taq ДНК-полимеразы, 2,5 mM MgCl₂, 0,2 mM dNTPs, по 0,3 мкМ прямого и обратного специфических праймеров, 1 е.а. ДНК-полимеразы Taq (ООО «Синтол», Москва).

Амплификацию проводили на термоциклере Trident 960 (HealForce, Китай) по следующим программам [14, 15]:

– для маркера FaFAD1: начальная денатурация – 4 мин при 94 °С, далее 33 цикла: 30 с при 94 °С, 30 с при 56 °С, 30 с при 72 °С; далее финальная элонгация – 10 мин при 72 °С;

– для маркера FanAAMT: начальная денатурация – 3 мин при 95 °С, далее 20 циклов: 30 с при 95 °С, 30 с при 62 °С (–0,5 °С/цикл), 45 с при 72 °С; далее 25 циклов: 30 с при 95 °С, 30 с при 52 °С, 45 с при 72 °С; далее финальная элонгация – 5 мин при 72 °С.

Продукты амплификации анализировали методом электрофореза в 2%-м агарозном геле. Для оценки молекулярной массы фрагментов использовали ДНК-маркер Step50 plus (ООО «Биолаб-микс», Новосибирск). Документирование данных осуществляли после окрашивания геля бромистым этидием с использованием системы визуализации гелей MaXidoc G2 (DAIHAN Scientific, Китай).

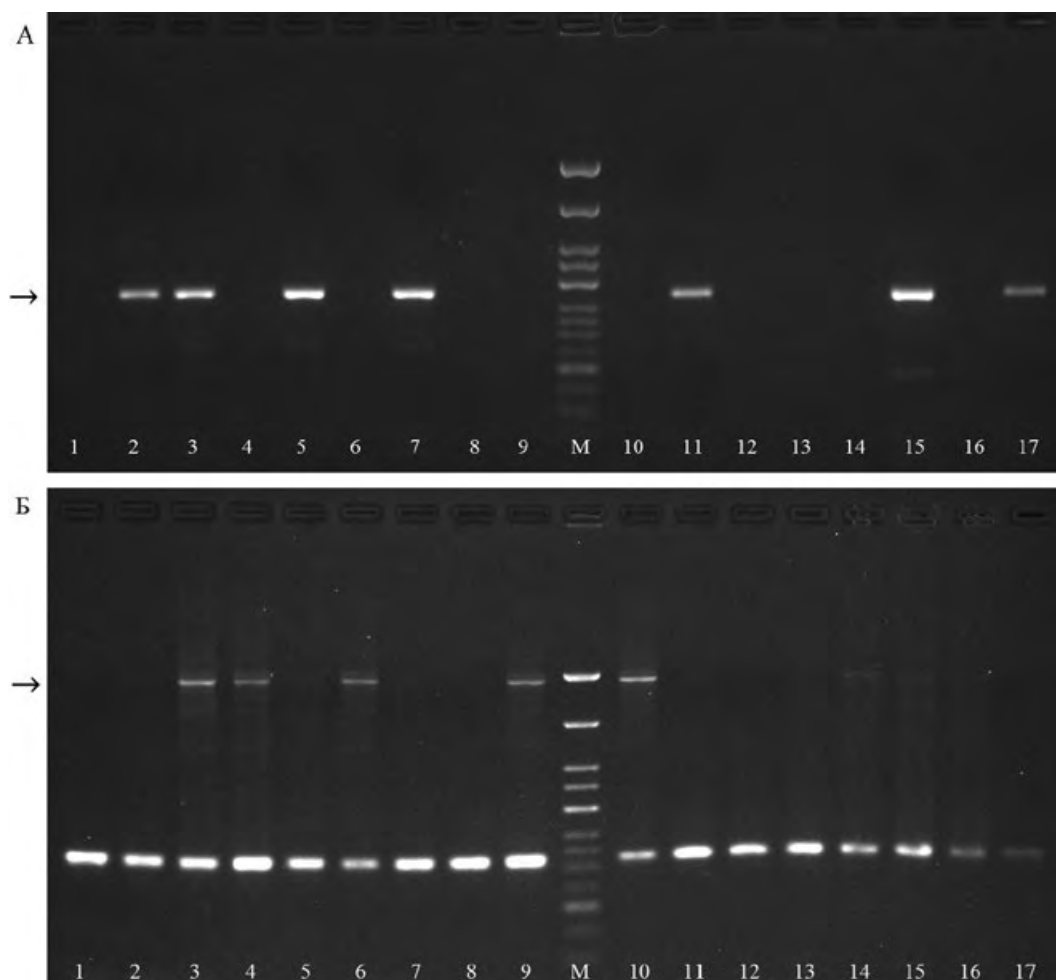
Полученные данные обрабатывали с применением методов математической статистики с помощью компьютерной программы STATISTICA 6.0. Сопоставление частоты встречаемости генов *FaFAD1* и *FanAAMT* в выборках отечественных и зарубежных сортов выполняли с использованием F-критерия Фишера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

ДНК-маркер FaFAD1 идентифицирует фрагмент размером 500 п.н., что свидетельствует о наличии функционального аллеля одноименного гена, участвующего в биосинтезе γ -декалактона. В результате проведенного исследования ген *FaFAD1* выявлен у девяти сортообразцов (Акварель, Даренка, Красная пчелка, Сударушка, Cabrillo, Cisojee, Corona, MallinPandora, Murano), что составило 26,5 % от общей выборки (табл. 3). Отмечено, что чаще маркер встречался среди сортов зарубежной селекции (41,7 % генотипов), чем отечественной (18,2 %), однако разница была статистически недостоверна ($p = 0,224$ по F-критерию Фишера).

Поскольку маркер FaFAD1 является доминантным, не выявляет аллельное состояние гена, то предположительно ген *FaFAD1* данных сортов может находиться как в гомозиготном доминантном, так и в гетерозиготном состоянии. Проанализировав родословные *FaFAD1*+ сортов, можно предположить их аллельное состояние. Так, сорт Фестивальная, по нашим данным и данным дру-

гих исследователей [9, 19], не является носителем целевого гена. Следовательно, созданные с его участием сорта с идентифицированным маркером *FaFAD1* характеризуются гетерозиготным состоянием гена и унаследовали его от второй родительской формы: сорт Даренка – от сорта Русановка, Сударушка – от Roxana.



Пример электрофоретического профиля маркеров *FaFAD1* (а) и *FanAAMT* (б) некоторых генотипов земляники садовой: 1 – Дуэт, 2 – Корона, 3 – Cisojee, 4 – Фестивальная, 5 – Murano, 6 – Царица, 7 – Сударушка, 8 – Карамель, 9 – Любаша, 10 – Гордость Урала, 11 – Красная пчелка, 12 – Настя, 13 – Орлец, 14 – Первоклассница, 15 – Malling Pandora, 16 – Фейерверк, 17 – Акварель, М – маркер молекулярного веса

An example of electrophoretic profile of markers *FaFAD1* (a) and *FanAAMT* (b) of some genotypes of garden strawberries: 1 – Duet, 2 – Korona, 3 – Cisojee, 4 – Festivalnaya, 5 – Murano, 6 – Tsaritsa, 7 – Sudarushka, 8 – Karamel, 9 – Lyubasha, 10 – Pride of the Urals, 11 – Red Bee, 12 – Nastya, 13 – Orlets, 14 – First-Grader, 15 – Malling Pandora, 16 – Fireworks, 17 – Aquarelle, M – molecular weight marker

Таблица 3

Результаты молекулярно-генетического скрининга земляники садовой по генам *FaFAD1* и *FanAAMT*
The results of molecular genetic screening of the *FaFAD1* and *FanAAMT* genes of strawberry varieties

Генотип	<i>FaFAD1</i>	<i>FanAAMT</i>	
	500 п.н.	350 п.н.	1500 п.н.
1	2	3	4
Акварель	+	+	
Алтын		+	+
Бова		+	

1	2	3	4
Виола		+	
Гордость Урала		+	+
Даренка	+	+	+
Дуэт		+	
Италмас		+	
Карамель		+	
Красная пчелка	+	+	
Любаша		+	+
Настя		+	
Орлец		+	
Первоклассница		+	+
Соловушка		+	
Сударушка	+	+	
Торпеда		+	+
Фестивальная		+	+
Фейерверк		+	+
Форсаж		+	
Царица		+	+
Ярославна		+	
BlackPrince		+	
Cabrillo	+	+	+
Cisojee	+	+	+
Kimberly		+	+
Korona	+	+	
MallingPandora	+	+	+
Malwina		+	
Marmion		+	+
Murano	+	+	
Olvia		+	+
Salsa		+	+
Sonsation		+	

Для идентификации генотипов земляники садовой, продуцирующих другое ароматообразующее вещество (метилантранилат), использовали ДНК-маркер *FanAAMT*, который амплифицирует два фрагмента (350 и 1500 п.н.). Фрагмент размером 350 п.н. присутствует у всех генотипов земляники. Фрагмент размером 1500 п.н. образуется только у форм с высоким содержанием метилантранилата в плодах [15]. В анализируемой коллекции земляники функциональный аллель гена *FanAAMT* детектировали у 16 сортообразцов, что составило 47,1 % от общей выборки. Среди *FanAAMT*+ генотипов 9 относились к сортам отечественной селекции (Алтын, Гордость Урала, Даренка, Любаша, Первоклассница, Торпеда, Фестивальная, Фейерверк, Царица) и 7 – к зарубежной (Cabrillo, Cisojee, Kimberly, MallingPandora, Marmion, Olvia, Salsa). Для данного маркера, как и для маркера *FaFAD1*, характерна более частая встречаемость среди сортообразцов зарубежной селекции (58,3 %), чем отечественной (40,9 %), однако существенной разницы не обнаружено ($p = 0,475$ по *F*-критерию Фишера).

Об аллельном состоянии гена, как и в первом случае, сказать точно невозможно, поскольку маркер *FanAAMT* является доминантным. Исходя из анализа родословных, можно с уверенностью сказать, что у сорта Фестивальная ген *FanAAMT* находится в гетерозиготном состоянии, поскольку с использованием этого сорта образовались как *FanAAMT*+ сортообразцы (Даренка, Торпеда, Olvia), так и *FanAAMT*– (Виола, Италмас, Сударушка). Аналогичная ситуация с сортом Торпеда: сортообразцы, выделенные в комбинации скрещивания с этим сортом, различались по аллельному состоянию гена метилтрансферазы (сорта Бова и Первоклассница). У сорта Соловушка *FanAAMT* не был идентифицирован, следовательно, сорт Алтын (Соловушка × Marmolada) унаследовал его от второго родителя.

Сорт Olvia образован от скрещивания сорта Фестивальная с идентифицированным геном *FanAAMT* и дикорастущей формы земляники *F. virginiana*, которая, по данным других исследователей [18], также содержит этот ген.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Аромат плодов земляники – это один из наиболее сложных признаков. Ароматический профиль включает порядка 360 ароматических соединений, к числу важнейших из которых относятся γ -декалактон и метиловый эфир антраниловой кислоты. Поскольку проявление признака детерминировано экспрессией целого ряда генов, наиболее перспективными по признаку «аромат плодов» формами являются генотипы, совмещающие в геноме несколько генов аромата [9]. В анализируемой коллекции земляники садовой сочетанием функциональных аллелей *FaFAD1* и *FanAAMT* характеризовались четыре сорта: Даренка, Cabrillo, Cisojee, Malling Pandora, что составило 11,8 % генотипов. Эти сорта являются перспективными источниками генов, отвечающих за синтез γ -декалактона и метилантранилата.

Анализ полученных результатов показал, что частота встречаемости изучаемых генов преобладает среди сортов зарубежной селекции. Подобная тенденция отмечена и другими научными группами. Так, А.С. Лыжиным, И.В. Лукьянчук, Е.В. Жбановой показано, что среди 22 генотипов земляники отечественной селекции ген *FaFAD1* присутствует у 9,1 % форм, а среди шестнадцати зарубежных сортов доля генотипов с геном *FaFAD1* составила 37,5 % [9]. Теми же авторами установлено, что среди российских сортов носителями гена *FanAAMT* являлись 27,3 % форм, а среди форм земляники зарубежной селекции – 37,5 % [18]. Преобладание генов ароматического комплекса плодов в геноплазме зарубежных сортов земляники связывают с их генетической близостью вследствие использования в селекционном процессе одних и тех же исходных форм. Есть данные, что большинство сортов иностранной селекции было получено в результате скрещивания семи исходных форм [9]. Вероятно, некоторые из них могли являться донорами целевых генов *FaFAD1* и *FanAAMT*.

ВЫВОДЫ

1. Проведен скрининг коллекции земляники садовой на наличие двух генов аромата плодов: *FaFAD1* и *FanAAMT*, детерминирующих содержание γ -декалактона и метилового эфира антраниловой кислоты соответственно. Функциональный аллель *FaFAD1* выявлен у девяти сортообразцов, что составило 26,5 % от общей выборки.

2. Перспективными источниками высокого содержания γ -декалактона являются сорта Акварель, Даренка, Красная пчелка, Сударушка, Cabrillo, Cisojee, Korona, Malling Pandora, Murano. Функциональный аллель *FanAAMT* идентифицирован у 16 изучаемых генотипов (47,1 %).

3. Перспективными источниками высокого содержания метилантранилата в плодах по результатам анализа являются Алтын, Гордость Урала, Даренка, Любаша, Первоклассница, Торпеда, Фестивальная, Фейерверк, Царица, Cabrillo, Cisojee, Kimberly, Malling Pandora, Marmion, Olvia, Salsa. Комплексными источниками генов *FaFAD1* и *FanAAMT* являются сорта Даренка, Cabrillo, Cisojee, Malling Pandora.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № FUUE-2024-0012).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макарова К.С., Петров А.Ф., Семенюк Ю.А. Совершенствование технологии производства земляники садовой в условиях лесостепи Западной Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 1. – С. 40–46. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-74-1-40-46.
2. Марченко Л.А. Земляника садовая: оценка отечественного сортимента и направления селекции // Аграрный вестник Урала. – 2020. – № 12(203). – С. 50–60. – DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-50-60.
3. Новик Г.А., Клакоцкая Н.В. Товарные показатели новых интродуцированных сортов земляники садовой // Плодоводство. – 2021. – Т. 33. – С. 101–105. – DOI: 10.47612/0134-9759-2021-33-101-105.
4. Невоструева Е.Ю., Андреева Г.В., Павлова О.А. Совершенствование сортимента земляники для Волго-Вятского региона // Современное садоводство. – 2021. – № 1. – С. 28–35. – DOI: 10.52415/23126701-2021-0104.
5. A multi-omics framework reveals strawberry flavor genes and their regulatory elements / Z. Fan, D.M. Tieman, S.J. Knapp [et al.] // New Phytologist. – 2022. – Vol. 236, № 3. – P. 1089–1107. – DOI: 10.1111/nph.18416.
6. Genetic analysis of methyl anthranilate, mesifurane, linalool, and other flavor compounds in cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa*) / C.R. Barbey, M.H. Hogshead, B. Harrison [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2021. – Vol. 12. – P. 615–749. – DOI: 10.3389/fpls.2021.615749.
7. Volatile profile of strawberry fruits and influence of different drying methods on their aroma and flavor: a review / D. Abouelenein, L. Acquaticci, L. Alessandrini [et al.] // Molecules. – 2023. – Vol. 28. – P. 5810. – DOI: 10.3390/molecules28155810.
8. Effect of drainage ratio during strawberry cultivation: The volatilomics-based shelf-life indicators for strawberry fruit / J.Y. Cho, D.H. Ryu, M. Hamayun [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2023. – Vol. 14. – P. 1124827. – DOI: 10.3389/fpls.2023.1124827.
9. Лыжнин А.С., Лукьянчук И.В., Жбанова Е.В. Полиморфизм сортов и дикорастущих видов земляники генетической коллекции Федерального научного центра им. И.В. Мичурина по генам аромата плодов *FaOMT* и *FaFAD1* // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2020. – Т. 24, № 1. – С. 5–11. – DOI: 10.18699/VJ20.588.
10. Cultivation conditions change aroma volatiles of strawberry fruit / Y. Li, Y. Zhang, X. Liu [et al.] // Horticulture. – 2021. – Vol. 7, № 4. – P. 81. – DOI: 10.3390/horticulturae7040081.
11. Strawberry sweetness and consumer preference are enhanced by specific volatile compounds / Z. Fan, T. Hasing, T.S. Johnson [et al.] // Horticulture Research. – 2021. – Vol. 8. – P. 224. – DOI: 10.1038/s41438-021-00502-5.
12. Лыжнин А.С., Лукьянчук И.В. Идентификация гена биосинтеза метилантранилата (*FanAAMT*) в геноплазме сортов земляники садовой // Таврический вестник аграрной науки. – 2023. – № 1(33). – С. 63–69. – DOI: 10.5281/zenodo.7898457.
13. Genetic analysis of strawberry fruit aroma and identification of O-methyltransferase *FaOMT* as the locus controlling natural variation in mesifurane content / Y. Zorrilla-Fontanesi, J.L. Rambla, A. Cabeza [et al.] // Plant Physiology. – 2012. – Vol. 159, № 2. – P. 851–870. – DOI: 10.1104/pp.111.188318.
14. Identification of a strawberry flavor gene candidate using an integrated genetic-genomic-analytical chemistry approach / A.H. Chambers, J. Pillet, A. Plotto [et al.] // BMC Genomics. – 2014. – Vol. 15, № 1. – P. 217. – DOI: 10.1186/1471-2164-15-217.
15. Identification of a methyltransferase catalyzing the final step of methyl anthranilate synthesis in cultivated strawberry / J. Pillet, A.H. Chambers, C. Barbey [et al.] // BMC Plant Biology. – 2017. – Vol. 17, № 1. – P. 147. – DOI: 10.1186/s12870-017-1088-1.
16. Genomic characterization of the fruity aroma gene, *FaFAD1*, reveals a gene dosage effect on γ -decalactone production in strawberry (*Fragaria × ananassa*) / Y. Oh, C.R. Barbey, S. Chandra [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2021. – Vol. 12. – P. 639345. – DOI: 10.3389/fpls.2021.639345.
17. Quality traits, volatile organic compounds, and expression of key flavor genes in strawberry genotypes over harvest period / V.K. Leonardou, E. Doudoumis, E. Tsormpatzidis [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2021. – Vol. 22. – P. 13499. – DOI: 10.3390/ijms222413499.
18. Лыжнин А.С., Лукьянчук И.В. Генетическое разнообразие дикорастущих видов и сортов земляники по гену *FanAAMT* ароматического комплекса плодов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2021. – Т. 182, № 2. – С. 72–80. – DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-72-80.
19. Кулик Е.М., Камедько Т.Н., Пугачев Р.М. Молекулярно-генетический анализ сортов земляники садовой по генам аромата плодов *FaOMT* и *FaFAD1* // Молекулярная и прикладная генетика. – 2024. – Т. 36. – С. 65–70.

REFERENCES

1. Makarova K.S., Petrov A.F., Semenyuk Yu.A., *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2025, No. 1, pp. 40–46, DOI: 10.31677/2072-6724-2025-74-1-40-46. (In Russ.)
2. Marchenko L.A., *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2020, No. 12(203), pp. 50–60, DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-50-60. (In Russ.)

3. Novik H.A., Klakotskaya N.V., *Fruit Growing*, 2021, No. 33, pp. 101–105, DOI: 10.47612/0134-9759-2021-33-101-105. (In Russ.)
4. Nevostrueva E.Yu., Andreeva G.V., Pavlova O.A., *Contemporary horticulture*, 2021, No. 1, pp. 28–35, DOI: 10.52415/23126701-2021-0104. (In Russ.)
5. Fan Z., Tieman D.M., Knapp S.J. et al., A multi-omics framework reveals strawberry flavor genes and their regulatory elements, *New Phytologist*, 2022, No. 236(3), pp. 1089–1107, DOI: 10.1111/nph.18416.
6. Barbey C.R., Hogshead M.H., Harrison B., Schwartz A.E., Verma S., Oh Y., Lee S., Folta K.M., Whitaker V.M., Genetic analysis of methyl anthranilate, mesifurane, linalool, and other flavor compounds in cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Frontiers in Plant Science*, 2021, No. 12, pp. 615–749, DOI: 10.3389/fpls.2021.615749.
7. Abouelenein D., Acquaticci L., Alessandrini L., Borsetta G., Caprioli G., Mannozi C., Marconi R., Piatti D., Santanatoglia A., Sagratini G. et al., Volatile profile of strawberry fruits and influence of different drying methods on their aroma and flavor: a review, *Molecules*, 2023, No. 28, pp. 5810, DOI: 10.3390/molecules28155810.
8. Cho J.Y., Ryu D.H., Hamayun M., Park S.H., Kim H.-Y., Effect of drainage ratio during strawberry cultivation: The volatilomics-based shelf-life indicators for strawberry fruit, *Frontiers in Plant Science*, 2023, No. 14, pp. 1124827, DOI: 10.3389/fpls.2023.1124827.
9. Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V., Zhbanova E.V., *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2020, No. 24(1), pp. 5–11, DOI: 10.18699/VJ20.588. (In Russ.)
10. Li Y., Zhang Y., Liu X., Xiao Y., Zhang Z., Shi Y. et al., Cultivation conditions change aroma volatiles of strawberry fruit, *Horticulture*, 2021, No. 7(4), pp. 81, DOI: 10.3390/horticulturae7040081.
11. Fan Z., Hasing T., Johnson T.S., Garner D.M., Schwieterman M.L., Barbey C.R., et al., Strawberry sweetness and consumer preference are enhanced by specific volatile compounds, *Horticulture Research*, 2021, No. 8, pp. 224, DOI: 10.1038/s41438-021-00502-5.
12. Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V., *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*, 2023, No. 1(33), pp. 63–69, DOI: 10.5281/zenodo.7898457. (In Russ.)
13. Zorrilla-Fontanesi Y., Rambla J.L., Cabeza A., Medina J.J., Sánchez-Sevilla J.F., Valpuesta V., Botella M.A., Granell A., Amaya I., Genetic analysis of strawberry fruit aroma and identification of O-methyltransferase *FaOMT* as the locus controlling natural variation in mesifurane content, *Plant Physiology*, 2012, No. 159(2), pp. 851–870, DOI: 10.1104/pp.111.188318.
14. Chambers A.H., Pillet J., Plotto A., Bai J., Whitaker V.M., Folta K.M., Identification of a strawberry flavor gene candidate using an integrated genetic-genomic-analytical chemistry approach, *BMC Genomics*, 2014, No. 15(1), pp. 217, DOI: 10.1186/1471-2164-15-217.
15. Pillet J., Chambers A.H., Barbey C., Bao Z., Plotto A., Bai J. et al., Identification of a methyltransferase catalyzing the final step of methyl anthranilate synthesis in cultivated strawberry, *BMC Plant Biology*, 2017, No. 17(1), pp. 147, DOI: 10.1186/s12870-017-1088-1.
16. Oh Y., Barbey C.R., Chandra S., Bai J., Fan Z., Plotto A., Pillet J., Folta K.M., Whitaker V.M., Lee S., Genomic characterization of the fruity aroma gene, *FaFAD1*, reveals a gene dosage effect on γ -decalactone production in strawberry (*Fragaria × ananassa*), *Frontiers in Plant Science*, 2021, No. 12, pp. 639345, DOI: 10.3389/fpls.2021.639345.
17. Leonardou V.K., Doudoumis E., Tsormpatsidis E., Vysini E., Papanikolopoulos T., Papatotiropoulos V., Lamari F.N., Quality traits, volatile organic compounds, and expression of key flavor genes in strawberry genotypes over harvest period, *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, No. 22, pp. 13499, DOI: 10.3390/ijms222413499.
18. Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V., *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2021, No. 182(2), pp. 72–80, DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-72-80). (In Russ.)
19. Kulik E.M., Kamedzko T.N., Pugachev R.M., *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika*, 2024, No. 36, pp. 65–70. (In Russ.)

Информация об авторе:

А.В. Худякова, кандидат биологических наук, научный сотрудник

Contribution of the author:

A.V. Khudyakova, candidate of biological sciences, researcher

ВЕТЕРИНАРИЯ, ЗООТЕХНИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 619:617.7-006:636.1

DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-87-97

НОВООБРАЗОВАНИЯ ВЕК У ЛОШАДЕЙ: СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЭТИОПАТОГЕНЕЗЕ, ДИАГНОСТИКЕ И КОМПЛЕКСНОМ ЛЕЧЕНИИ

^{1,2}Е.Е. Глущенко, ¹В.В. Глущенко, ^{1,2}Е.В. Дробот, ¹О.А. Зайко

¹Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, Новосибирск, Россия

²Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: gee25@bk.ru

Для цитирования: Новообразования век у лошадей: современные представления об этиопатогенезе, диагностике и комплексном лечении / Е.Е. Глущенко, В.В. Глущенко, Е.В. Дробот, О.А. Зайко // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 87–97. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-87-97.

Реферат. Новообразования в периокулярной области являются одной из самых часто встречающихся онкологических патологий в ветеринарной офтальмологии лошадей, что определяет актуальность систематизации современных данных по данной проблеме. Данный обзор посвящен анализу и обобщению современных представлений об основных нозологических формах опухолей век, включая плоскоклеточный рак, саркоид, гемангиосаркому, аденокарциному слезной железы, а также клинически значимое состояние – эктопические ресницы. В работе подробно рассматривается взаимодействие этиологических факторов: ультрафиолетового излучения, вирусных агентов (BPV, EcPV) и генетической предрасположенности, в частности мутации в гене DDB2, которая в последние годы признана ключевым фактором риска развития плоскоклеточного рака у ряда пород. Представлен комплексный диагностический алгоритм, включающий гистопатологическую верификацию с применением иммуногистохимии и инструментальные методы визуализации. В разделе лечения проанализированы современные подходы: хирургическое иссечение с реконструктивной блефаропластикой, электрохимиотерапия, местная и внутриочаговая химиотерапия, иммунотерапия и криохирургия. Особое внимание уделено необходимости персонализированного подхода и раннего вмешательства для улучшения прогноза и сохранения зрительной функции у животных.

Ключевые слова: лошадь, новообразования век, плоскоклеточный рак, саркоид, аденокарцинома, гемангиосаркома, эктопические ресницы, DDB2, ультрафиолетовое излучение, электрохимиотерапия.

EQUINE EYELID NEOPLASMS: CURRENT UNDERSTANDING OF ETIOPATHOGENESIS, DIAGNOSIS AND COMPLEX TREATMENT

^{1,2}E.E. Glushchenko, ¹V.V. Glushchenko, ^{1,2}E.V. Drobot, ¹O.A. Zaiko

¹University of Biotechnology, Novosibirsk, Russia

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

E-mail: gee25@bk.ru

Abstract. Periorbital neoplasms are the dominant oncological pathology in equine ophthalmology, which determines the relevance of systematizing current data on this issue. This review is devoted to the analysis and synthesis of modern ideas about the main nosological forms of eyelid tumors, including squamous cell carcinoma (SCC), sarcoid, hemangiosarcoma, lacrimal gland adenocarcinoma, as well as the clinically significant condition of ectopic cilia. The paper discusses in detail the interaction of etiological factors: ultraviolet radiation, viral agents (BPV, EcPV) and genetic predisposition, in particular the mutation in the DDB2 gene, which in recent years has been recognized as a key risk factor for the development of squamous cell carcinoma in a number of breeds. A comprehensive diagnostic algorithm is presented, including histopathological verification with the use of immunohistochemistry and instrumental imaging methods. The treatment section analyzes modern approaches: surgical excision with reconstructive blepharoplasty, electrochemotherapy, topical and intralesional chemotherapy, immunotherapy and cryosurgery. Special attention is paid to the need for a personalized approach and early intervention to improve the prognosis and preserve visual function in animals.

Keywords: horse, eyelid neoplasms, squamous cell carcinoma, sarcoid, adenocarcinoma, hemangiosarcoma, ectopic cilia, DDB2, ultraviolet radiation, electrochemotherapy.

Периокулярные новообразования представляют серьезную мультидисциплинарную проблему в ветеринарной медицине лошадей, занимая лидирующее место в структуре онкологической патологии глаза и его придатков [1, 2]. Их клиническая значимость обусловлена не только высокой частотой встречаемости, но и значительным негативным воздействием на зрительную функцию и общее благополучие животного. Объемное образование на веке приводит к хроническому механическому раздражению роговицы, развитию язвенного кератита с риском перфорации, нарушению распределения слезной пленки и функции мигания [3]. Кроме того, ряд опухолей (плоскоклеточный рак, аденокарцинома, гемангиосаркома) обладают инвазивным и метастатическим потенциалом, угрожая жизни животного. Важно также помнить о неопухолевых, но клинически значимых образованиях, таких как эктопические ресницы, которые имитируют хронический кератит.

В последние десятилетия произошел качественный скачок в понимании этиопатогенеза, особенно плоскоклеточного рака (ПКР), от чисто феноменологического описания к раскрытию молекулярно-генетических механизмов предрасположенности [4, 5]. Параллельно развиваются и совершенствуются методы лечения, смещая фокус с радикальной хирургии на органосохраняющие и комбинированные протоколы [6, 7].

Цель данного обзора — интегрировать самые актуальные данные фундаментальных исследований (генетика, вирусология) с клиническими подходами к диагностике и лечению, представив ветеринарным врачам комплексный алгоритм ведения пациентов с новообразованиями и опухолеподобными поражениями век.

Объектом настоящего обзора явились опубликованные научные работы, посвященные этиологии, патогенезу, диагностике и лечению новообразований век у лошадей. Поиск литературы проводился в электронных базах данных PubMed, Google Scholar и eLibrary.ru за период с 2015 по 2025 г. с использованием следующих ключевых слов: equine eyelid neoplasia, squamous cell carcinoma horse, equine sarcoid, hemangiosarcoma horse, ectopic cilia horse, DDB2 mutation horse. Глубина поиска по литературным источникам составила 10 лет, приоритет отдавался публикациям последних пяти лет. Критериями включения являлись оригинальные исследования и обзорные статьи, опубликованные в рецензируемых журналах на английском или русском языках, содержащие гистопатологическое подтверждение диагноза и описание методов лечения. Всего было отобрано и проанализировано 53 литературных источника, соответствующих критериям отбора. Анализ и синтез полученных данных проводился с использованием методов описательной статистики и систематизации.

Классификация, гистогенез и биологическое поведение

Опухоли век у лошадей классифицируются по нескольким ключевым принципам, что позволяет оценить не только их природу, но и определить прогноз, а также выбрать тактику для дальнейшего лечения больного животного. Основными критериями, заложенными в классификации новообразований, являются *гистогенез* (происхождение ткани), *биологическое поведение опухоли* (доброкачественность или злокачественность) и *клинико-морфологические особенности*.

Комплексная оценка опухолей век у лошадей по таким критериям, как происхождение, поведение, клинический тип, локализация и возможная причина, является обязательной для постановки точного диагноза, определения прогноза и выбора оптимального метода лечения — будь то хирургическое иссечение, электрохимиотерапия, криотерапия или комбинированный протокол лечения. Ниже приведена классификация опухолей по вышеперечисленным критериям.

Классификация по гистогенезу (происхождению ткани)

Основной классификацией признана та, что определяет опухоли при гистологическом исследовании.

Опухоли эпителиального происхождения

Доброкачественные

Папиллома – вирус-индуцированное (EcPV) экзофитное бородавчатое образование век, чаще всего регистрируют у молодых лошадей.

Аденома – одно из крайне редко встречающихся новообразований, это доброкачественная опухоль из железистых структур, таких как потовые, сальные железы и железы хряща века.

Злокачественные

Плоскоклеточный рак (ПКР, SCC) – одна из наиболее часто встречающихся злокачественных опухолей век у лошадей, происходит из кератиноцитов поверхностного эпителия кожи или конъюнктивы.

Базальноклеточный рак – очень редко встречающееся новообразование, обычно происходит из базального слоя эпидермиса.

Аденокарциномы из железистых структур: из них выделяют аденокарциному мейбомиевых (сальных) желез, аденокарциному слезной железы (основной или добавочных желез третьего века), последняя крайне агрессивна.

Опухоли мезенхимального (соединительнотканного) происхождения

Доброкачественные с агрессивным поведением

Саркоид (Equine Sarcoid) – самая частая опухоль кожи лошадей. Фибробластическая опухоль, вызываемая вирусом папилломы быка (BPV). Хотя гистологически доброкачественна, клинически ведет себя как местно-инвазивная.

Злокачественные

Фибросаркома – злокачественная опухоль из фибробластов (может быть малигнизацией саркоида).

Гемангиосаркома (ангиосаркома) – является злокачественной опухолью из клеток кровеносных сосудов, довольно редкая, но агрессивная опухоль, поражающая конъюнктиву и веки [8, 9].

Остеосаркома/хондросаркома (крайне редко) – из костной/хрящевой ткани орбиты.

Опухоли меланоцитарного происхождения

Меланоцитома – доброкачественная опухоль, происходит из меланоцитов.

Меланома – злокачественная опухоль. При этом может быть и доброкачественной в течение многих лет, но обладает потенциалом к малигнизации и метастазированию, чаще встречается у серых лошадей.

Опухоли лимфоидной ткани и круглоклеточные опухоли

Лимфома/лимфосаркома, может проявляться как первичная периокулярная масса.

Тучноклеточная опухоль (мастоцитома).

Опухоли из зачатков нервной ткани

Неврилеммома (шваннома).

Классификация по биологическому поведению

Доброкачественные опухоли. Характеризуются медленным, экспансивным (отодвигающим ткани) ростом, имеют четкие границы, не метастазируют, редко рецидивируют после полного иссечения. Примерами служат папиллома, аденома, меланоцитома.

Промежуточные (местно-деструктирующие) опухоли. Характеризуются отсутствием метастазирования, но обладают *инфильтративным ростом* в окружающие ткани и высокой частотой рецидивов. Самым ярким примером является саркоид.

Злокачественные опухоли. Характеризуются быстрым *инвазивным ростом*, способностью к *метастазированию* (довольно часто в регионарные лимфоузлы и легкие), часто рецидивируют. К ним можно отнести плоскоклеточный рак, аденокарциному, злокачественную меланому, фибросаркому и гемангиосаркому [8, 9].

Клинико-морфологическая классификация (применяют обычно для саркоидов)

Наиболее разработана для *саркоидов*, которые подразделяют на шесть клинических типов [10]:

Скрытый (Occult), в виде плоского, шероховатого и алопещичного пятна.

Веррукозный (Verrucous): бородавчатая, сухая, с поверхностью в виде цветной капусты.

Узловатый (Nodular): одиночные или множественные подкожные узлы, кожа над ними может иметь подвижность.

Фибробластический (Fibroblastic): мясистая, быстро растущая, часто с изъязвлениями, кровоточащие массы на широком основании или ножке.

Смешанный (Mixed): новообразование сочетает признаки нескольких типов.

Злокачественный (Malignant): очень агрессивный инфильтративный тип, часто имитирующий фибросаркому.

Этиопатогенетическая классификация (по ведущей причине)

УФ-индуцированные опухоли. Чаще всего регистрируют ПКР (основная этиологическая роль ультрафиолета и генетической предрасположенности через мутацию DDB2). Также сюда можно отнести гемангиосаркому, учитывая частые гистологические признаки солнечного эластоа [8].

Вирус-ассоциированные опухоли.

BPV-индуцированные: саркоид, папилломы.

ЕсРV-индуцированные: папилломы, возможная ко-канцерогенная роль в развитии ПКР [11].

Опухоли, ассоциированные с породой и окрасом: меланома у серых лошадей.

Идиопатические (причина неизвестна): аденокарциномы, большинство сарком.

Современные представления об этиопатогенезе основных нозологий

Плоскоклеточный рак (Squamous Cell Carcinoma, SCC)

ПКР является наиболее часто встречающейся злокачественной опухолью глазной поверхности у лошадей [12]. Происходит из кератиноцитов базального и шиповатого слоев эпидермиса. Гистологическая картина характеризуется инвазивными гнездами и тяжами полиморфных эпителиальных клеток с различной степенью кератинизации, вплоть до формирования классических «раковых жемчужин» [13]. Опухоль отличается местно-деструктивным ростом с инвазией в подлежащую строму, конъюнктиву, третье веко и орбиту. Метастазирование в регионарные (подчелюстные, околушные) лимфоузлы и легкие наблюдается в 5–15 % случаев, обычно при запущенных или рецидивирующих опухолях [14].

Ультрафиолетовое излучение и генетическая предрасположенность. УФ-излучение является основным экзогенным канцерогеном для ПКР. Фотоны UVB-спектра напрямую повреждают ДНК кератиноцитов, образуя циклобутановые пиримидиновые димеры [12]. У здоровых животных эти повреждения эффективно репарируются системой эксцизионной репарации нуклеотидов (NER). Прорывом в понимании этиологии ПКР стало открытие миссенс-мутации с.1013C>T (T338M) в гене DDB2 [4, 5]. Этот ген кодирует белок, критически важный для распознавания УФ-повреждений на начальном этапе NER.

Исследования [15] предоставили прямое функциональное доказательство того, что мутация T338M приводит к потере функции белка DDB2. В норме аминокислота треонин (T338) играет ключевую структурную роль. Мутация в метионин (T338M) нарушает эту структуру, лишая белок возможности связываться с ДНК. В результате мутантный белок DDB2 не рекрутируется к участкам УФ-повреждений, не может инициировать репарацию, что ведет к накоплению мутаций и канцерогенезу.

Мутация имеет аутосомно-рецессивный характер; гомозиготные носители (Т/Т) имеют крайне высокий риск развития ПКР, особенно в комбинации с депигментированной кожей и инсоляцией [16]. Первоначально мутация была идентифицирована у гафлингеров, бельгийских тяжеловозов и лошадей Скалистых гор [17, 18]. Дальнейшие исследования подтвердили ее значимость и для других пород, включая пони коннемара и теплокровных лошадей [19], что расширяет спектр пород, для которых рекомендуется генетическое тестирование.

Вирусные факторы. ЕсРV-2 в последнее время все чаще обнаруживается в тканях ПКР половых органов и головы лошадей, при этом предполагается его ко-канцерогенная роль, возможно, синергичная с УФ-излучением [11].

Саркоид (Equine Sarcoid)

Саркоид – самая распространенная мезенхимальная опухоль кожи лошадей, с высокой тропностью к периокулярной области [10]. Этиологическим фактором является вирус папилломы быка (BPV) типов 1 и 2. Онкогенные белки вируса (Е5, Е6, Е7) нарушают регуляцию клеточного цикла в фибробластах, ингибируя апоптоз и стимулируя пролиферацию [20]. Несмотря на гистологически доброкачественный характер, саркоид клинически ведет себя как местно-агрессивная опухоль. Он не метастазирует, но характеризуется инфильтративным ростом и высокой частотой рецидивов после нерадикального удаления (>50 %). Исследования с использованием ПЦР показали, что даже при отступлении в 1,6 см от видимого края, в 33 % случаев края могут быть небезопасными [21].

Другие новообразования

Аденокарцинома слезной железы (Lacrimal Gland Adenocarcinoma). Крайне редкая, но агрессивная злокачественная неоплазия, происходящая из ацинарных клеток слезной железы или добавочных желез третьего века [22, 23]. Характеризуется быстрым инфильтративным ростом в орбиту и ранним метастазированием. Прогноз осторожный до неблагоприятного.

Гемангиосаркома (Haemangiosarcoma). Редкая злокачественная мезенхимальная опухоль из эндотелиальных клеток [8, 9]. Характеризуется местно-инвазивным ростом и способностью к метастазированию. В одном из исследований у всех лошадей наблюдалась полная ремиссия после

хирургического иссечения с чистыми краями, что подчеркивает важность радикального первичного лечения [8]. Прогноз благоприятный при ранней диагностике и полном иссечении.

Эктопические ресницы (Ectopic Cilia). Это не опухоль, но важное клиническое состояние, при котором на конъюнктивной поверхности третьего века располагаются aberrантные волосяные фолликулы. Клинически проявляется хронической эпифорой, блефароспазмом и кератитом [24].

Клиническая картина и диагностика

Клинические симптомы

ПКР чаще локализуется на депигментированном крае нижнего века, конъюнктиве третьего века и представляет собой изъязвленную, кровоточащую массу с неровными краями, характерна потеря ресниц (мадароз) [25].

Саркоид клинически полиморфен: от плоских, скрытых поражений до веррукозных (бородавчатых) или агрессивных фибробластических образований [10].

Гемангиосаркома характеризуется персистирующим серозно-геморрагическим отделяемым, само образование может выглядеть как диффузное утолщение или экзофитная ярко-красная масса на конъюнктиве или третьем веке [8].

Диагностический алгоритм

Тщательный офтальмологический осмотр с оценкой размера, локализации, вовлечения окружающих структур. Обязательна пальпация регионарных лимфатических узлов [26].

Гистопатологическое исследование – «золотой стандарт». Инцизионная или эксцизионная биопсия обязательна для дифференциации [13, 27]. Для гистологической оценки краев резекции чистыми считаются края не менее 5 мм от границы опухоли. Для саркоидов рекомендуется margin не менее 1 см [26]. При солидных формах гемангиосаркомы требуется иммуногистохимия с маркерами CD31 или фактором фон Виллебранда [8].

Ультразвуковое исследование (УЗИ) глаза и орбиты для определения глубины инвазии опухоли [28].

Дополнительная визуализация. КТ или МРТ для оценки деструкции костей орбиты и поиска метастазов [29].

Исключение неопухолевых состояний. при хроническом кератите без явной опухолевой массы показан тщательный осмотр третьего века для исключения эктопических ресниц [24].

Современные подходы к лечению

Лечение должно быть комплексным и планироваться с учетом гистологического типа, размера, локализации опухоли. Современная тенденция смещается в сторону органосохраняющих операций и минимально инвазивных методов [26].

Хирургическое лечение и реконструктивная блефаропластика

Цель хирургического лечения – достижение гистологически чистых краев резекции. Из-за ограниченного количества кожи век это часто технически сложно [30].

Реконструктивная блефаропластика является неотъемлемой частью хирургии для сохранения функции века.

Скользящие кожные лоскуты (Н-пластика, геми-Н-пластика), эффективны для закрытия дефектов нижнего века. Исследование [31] демонстрирует успешное применение геми-Н-пластики после иссечения ПКР с отступом в 2 см, что позволило сохранить глаз и функции века.

Ромбовидная блефаропластика (Rhomboid flap), эффективна для реконструкции дефектов медиального угла глаза и нижнего века. В комбинации с криотерапией краев раны эта техника обеспечила отличный результат без рецидива в течение 12 месяцев [32].

Специализированные методы для саркоидов

Лазерная хирургия (CO₂-лазер), обеспечивает бескровное поле и позволяет стерилизовать ложе раны, частота успеха может достигать 80 % и более [21].

Электродиатермия, показала 85 % успеха, что выше, чем при использовании других методов [21].

Криохирургическая абляция, эффективна для поверхностных опухолей [21].

Адьювантные и альтернативные методы

Электрохимиотерапия (ЭХТ) – один из наиболее перспективных методов. Принцип действия основан на локальном введении химиопрепарата (блеомицина или цисплатина) с последующей подачей электрических импульсов, что увеличивает проницаемость клеточных мембран в 100–1000 раз

[7, 33]. ЭХТ может использоваться как монотерапия, особенно в анатомически сложных зонах [34], так и как адъювантный метод [35].

Местная и внутриочаговая химиотерапия применяется как адъювантный метод или монотерапия для поверхностных поражений [26]:

5-Фторурацил (5-ФУ), эффективен при ПКР.

Митомицин С, показывает хороший результат (около 75 %) при поражении одной структуры глаза [36].

Имиквимод – иммуномодулятор, сообщается о разрешении саркоидов в 60 % случаев.

Иммунотерапия, для лечения саркоидов применяют инъекции вакцины БЦЖ, частота разрешения составляет 59–69 % [26].

Прогноз и профилактика

Прогноз напрямую зависит от ранней диагностики, гистологического типа опухоли и радикальности первичного лечения.

При ПКР частота рецидивов после только хирургического иссечения достигает 30–44 % [37], что подчеркивает важность комбинированных протоколов.

При гемангиосаркоме прогноз благоприятный при условии полного (R0) хирургического иссечения на ранней стадии [8].

При эктопических ресницах прогноз после иссечения благоприятный, но возможно появление новых ресниц [24].

Профилактика для групп риска должна включать:

- генетическое тестирование на мутацию DDB2 [19];
- снижение инсоляции: выпас в утренние и вечерние часы;
- использование масок для глаз с УФ-фильтром [38];
- регулярные офтальмологические осмотры.

ВЫВОДЫ

1. Периокулярные новообразования у лошадей разнообразны и включают как часто встречающиеся злокачественные опухоли (плоскоклеточный рак), так и местно-инвазивные (саркоид) и редкие, но агрессивные формы (гемангиосаркома, аденокарцинома), а также неопухолевые, но клинически значимые состояния (эктопические ресницы).

2. Ключевым фактором риска развития плоскоклеточного рака является миссенс-мутация c.1013C>T в гене DDB2, имеющая аутосомно-рецессивный тип наследования. Наиболее высокая частота аллеля риска установлена у пород гафлингер, бельгийский тяжеловоз, лошадь Скалистых гор и пони коннемара, что обосновывает проведение генетического тестирования у этих пород.

3. «Золотым стандартом» диагностики остается гистопатологическое исследование биопсийного материала. Для низкодифференцированных опухолей, таких как солидная ангиосаркома, обязательным является проведение иммуногистохимии с использованием маркеров эндотелиальных клеток (CD31, фактор фон Виллебранда).

4. Основой лечения является широкое хирургическое иссечение с обязательным получением гистологически чистых краев резекции. Для саркоидов рекомендованный хирургический отступ составляет не менее 1 см, при этом наиболее эффективными признаны лазерная хирургия и электродиатермия, снижающие риск обсеменения операционной зоны.

5. Электрохимиотерапия является высокоэффективным органосохраняющим методом, который может применяться как в качестве адъювантной терапии, так и в качестве монотерапии первой линии при локализации опухолей в анатомически сложных зонах.

6. Прогноз заболевания напрямую зависит от своевременности диагностики и радикальности первичного лечения. Наиболее благоприятный прогноз отмечается при плоскоклеточном раке (при комбинированном лечении) и гемангиосаркоме (при полном иссечении), в то время как аденокарцинома слезной железы имеет осторожный прогноз ввиду высокой агрессивности и склонности к метастазированию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Abu-Seida A.M., Al-Akraa A.M.* Diagnostic imaging of equine ocular and adnexal tumors: A review // *Journal of Equine Veterinary Science*. – 2021. – Vol. 102. – P. 103627. – DOI: 10.1016/j.jevs.2021.103627.
2. *Bortoletto R., Castro M.B., Martins M.I.M.* Destro VY blepharoplasty for reconstruction of the lower eyelid in a horse // *Ciência Rural*. – 2021. – Vol. 51, N 5. – e20200259. – DOI: 10.1590/0103-8478cr20200259.
3. *Estell K.E.* Ocular squamous cell carcinoma in the horse: Current concepts in diagnosis and treatment // *Equine Veterinary Education*. – 2020. – Vol. 32, N 9. – P. 486–494. – DOI: 10.1111/eve.13122.
4. *Knickelbein K.E., Lassaline M.E., Bellone R.R.* Equine ocular squamous cell carcinoma: A review of etiopathogenesis and emerging treatments // *Veterinary Ophthalmology*. – 2020. – Vol. 23, N 4. – P. 617–627. – DOI: 10.1111/vop.12787.
5. *A missense mutation in damage-specific DNA binding protein 2 is a genetic risk factor for ocular squamous cell carcinoma in Belgian horses / R.R. Bellone, J. Liu, J.L. Petersen [et al.]* // *Equine Veterinary Journal*. – 2020. – Vol. 52, N 1. – P. 34–40. – DOI: 10.1111/evj.13124.
6. *Electrochemotherapy in veterinary medicine: A review of indications and techniques / M.N. Tellado, S.D. Michinski, M.B. Ceballos [et al.]* // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2022. – Vol. 9. – P. 880200. – DOI: 10.3389/fvets.2022.880200.
7. *Updated standard operating procedures for electrochemotherapy of cutaneous tumours and skin metastases / J. Gehl, G. Sersa, L.W. Matthiessen [et al.]* // *Acta Oncologica*. – 2018. – Vol. 57, N 7. – P. 874–882. – DOI: 10.1080/0284186X.2018.1454602.
8. *Equine conjunctival haemangiosarcoma: Clinical presentation, management, and outcome of seven cases in the United Kingdom / A. Kashani-Carver, C. O'Halloran, E. Scurrall [et al.]* // *Open Veterinary Journal*. – 2023. – Vol. 13, N 10. – P. 1366. – DOI: 10.5455/OVJ.2023.v13.i10.17.
9. *Haemangiosarcoma involving the third eyelid in the horse: a case series / J. Sansom, D. Donaldson, K. Smith [et al.]* // *Equine Veterinary Journal*. – 2020. – Vol. 52, N 3. – P. 380–386. – DOI: 10.1111/evj.13215.
10. *Knottenbelt D.C.* The Equine Sarcoid: Why Are There so Many Treatment Options? // *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. – 2019. – Vol. 35, N 3. – P. 551–576. – DOI: 10.1016/j.cveq.2019.08.011.
11. *Da Silva M.A., Woolley C., Sanchez C.* Detection of Equus caballus papillomavirus type 2 in equine squamous cell carcinoma // *Transboundary and Emerging Diseases*. – 2022. – Vol. 69, N 4. – P. e1020-e1030. – DOI: 10.1111/tbed.14399.
12. *Giuliano E.A.* Equine periocular squamous cell carcinoma: Current concepts and emerging therapies // *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. – 2020. – Vol. 36, N 3. – P. 621–635. – DOI: 10.1016/j.cveq.2020.08.005.
13. *Metastatic squamous cell carcinoma in a horse / J.A. Ramos-Vara, M.A. Miller, L.W. Pace [et al.]* // *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. – 2021. – Vol. 33, N 4. – P. 788–792. – DOI: 10.1177/10406387211017645.
14. *Outcomes of ocular and adnexal squamous cell carcinoma in horses treated with surgery alone or surgery combined with adjunctive treatment / C.B. Mosunic, P.A. Moore, K.P. Carmichael [et al.]* // *Journal of the American Veterinary Medical Association*. – 2020. – Vol. 256, N 11. – P. 1245–1252. – DOI: 10.2460/javma.256.11.1245.
15. *A novel DDB2 mutation causes defective DNA binding of UV-DDB and prevalent equine squamous cell carcinoma / L. Chen, R.R. Bellone, M. Singer-Berk, S.E. Artandi* // *DNA Repair*. – 2020. – Vol. 97. – P. 103024. – DOI: 10.1016/j.dnarep.2020.103024.
16. *DDB2 Genetic Risk Factor for Ocular Squamous Cell Carcinoma Identified in Three Additional Horse Breeds / M. Crausaz, T. Launois, K. Smith-Fleming [et al.]* // *Genes*. – 2020. – Vol. 11, N 12. – P. 1460. – DOI: 10.3390/genes11121460.
17. *Knickelbein K.E., Lassaline M., Bellone R.R.* Limbal squamous cell carcinoma in a Rocky Mountain Horse: Case report and investigation of genetic contribution // *Veterinary Ophthalmology*. – 2019. – Vol. 22, N 2. – P. 201–205. – DOI: 10.1111/vop.12625.
18. *GWAS identifies a risk locus for equine ocular squamous cell carcinoma in Haflinger horses / M. Singer-Berk, K.E. Knickelbein, S. Vig [et al.]* // *Animal Genetics*. – 2020. – Vol. 51, N 4. – P. 577–584. – DOI: 10.1111/age.12948.
19. *Genetic testing for the DDB2 mutation in horses with ocular squamous cell carcinoma / M. Lassaline, T.L. Cranford, C.A. Latimer, R.R. Bellone* // *Equine Veterinary Journal*. – 2022. – Vol. 54, N 5. – P. 912–918. – DOI: 10.1111/evj.13522.
20. *Nasir L., Campo M.S.* Bovine papillomavirus: biology and pathogenesis // *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. – 2021. – Vol. 37, N 1. – P. 65–78. – DOI: 10.1016/j.cveq.2020.12.003.
21. *A prospective study of the treatment of equine sarcoids by a variety of methods / D.C. Knottenbelt, B. Toth, G. Pearson [et al.]* // *Equine Veterinary Journal*. – 2023. – Vol. 55, N 2. – P. 245–256. – DOI: 10.1111/evj.13855.
22. *Mathes R.L., Carmalt J.L., Campbell J.* Lacrimal gland adenocarcinoma in a horse // *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. – 2021. – Vol. 33, N 3. – P. 567–570. – DOI: 10.1177/10406387211008954.
23. *Adenocarcinoma em glândula lacrimal de equino / A.C.M. Muhlbaier, I.F. Ortlieb, G. Bastiani [et al.]* // *Acta Scientiae Veterinariae*. – 2022. – Vol. 50, Supl. 1. – P. 775. – DOI: 10.22456/1679-9216.121234.
24. *Bilateral third eyelid ectopic cilia in an adult horse / C.L.H. Chiwitt, E.J. Scurrall, H.J. Featherstone, C.L. Heinrich* // *Veterinary Ophthalmology*. – 2021. – Vol. 24, N 2. – P. 187–192. – DOI: 10.1111/vop.12855.
25. *Scherrer N.M., Lassaline M., Engiles J.* Ocular and periocular hemangiosarcoma in six horses // *Veterinary Ophthalmology*. – 2020. – Vol. 23, N 3, P. 521–527. – DOI: 10.1111/vop.12755.

26. *Estell K.* Periocular Neoplasia in the Horse // *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice.* – 2023. – Vol. 39, N 1. – P. 155–172. – DOI: 10.1016/j.cveq.2022.11.010.
27. *Immunohistochemical* characterization of equine ocular squamous cell carcinoma / E.A. Giuliano, J.E. McDonald, A.J. LoPinto [et al.] // *Veterinary Ophthalmology.* – 2021. – Vol. 24, N S1. – P. 142–150. – DOI: 10.1111/vop.12845.
28. *Drazek A., Dziegiel B., Kubiak K.* Ultrasonographic evaluation of periocular masses in horses // *Journal of Equine Veterinary Science.* – 2020. – Vol. 88. – P. 102968. – DOI: 10.1016/j.jevs.2020.102968.
29. *Manoso-Díaz G., García-López J.M., Taeymans O.* Advanced imaging of the equine head: CT and MRI // *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice.* – 2022. – Vol. 38, N 1. – P. 141–164. – DOI: 10.1016/j.cveq.2021.11.009.
30. *Hewes C.A., Sullins K.E.* Use of a bipedicle lip flap for reconstruction of the lower eyelid in horses: Long-term follow-up // *Veterinary Surgery.* – 2021. – Vol. 50, N 4. – P. 812–819. – DOI: 10.1111/vsu.13610.
31. *Sliding skin flap (hemi-H-plasty) for reconstruction of palpebral defects in horses* / A. Steinmetz, P. Wohlsein, R. Mischke [et al.] // *Veterinary Surgery.* – 2020. – Vol. 49, N 5. – P. 981–988. – DOI: 10.1111/vsu.13422.
32. *Rhomboid* blepharoplasty and cryotherapy for the treatment of a squamous cell carcinoma on the lower eyelid in a horse / E.C. Jeanes, S. Koll-Hampp, C. Dawson [et al.] // *Clinical Case Reports.* – 2019. – Vol. 7, N 1. – P. 40–46. – DOI: 10.1002/ccr3.1901.
33. *Spugnini E.P., Baldi A.* Electrochemotherapy in veterinary oncology: State-of-the-art and perspectives // *Veterinary and Comparative Oncology.* – 2020. – Vol. 18, N 3. – P. 287–296. – DOI: 10.1111/vco.12564.
34. *Successful* treatment of equine periocular neoplasia with electrochemotherapy: A 10-year retrospective study / Y. Tamzali, L. Borde, M.P. Rols [et al.] // *Equine Veterinary Journal.* – 2021. – Vol. 53, N 5. – P. 934–941. – DOI: 10.1111/evj.13378.
35. *Electrochemotherapy* as a single treatment or adjuvant treatment to surgery of cutaneous sarcoid tumours in horses: A 15-year retrospective study / N. Tozon, P. Kramaric, V. Kos Kadunc [et al.] // *Veterinary Record.* – 2022. – Vol. 190, N 8. – e1375. – DOI: 10.1002/vetr.1375.
36. *Malalana F., Knottenbelt D.C., McKane S.A.* The use of intralesional mitomycin C for the treatment of equine periocular squamous cell carcinoma: Long-term follow-up // *Equine Veterinary Journal.* – 2021. – Vol. 53, N 3. – P. 498–503. – DOI: 10.1111/evj.13312.
37. *A systematic* review of treatment outcomes for equine ocular and periocular squamous cell carcinoma / Y. Surjan, D. Donaldson, P. Ostwald, C. Milross // *Journal of Equine Veterinary Science.* – 2021. – Vol. 102. – P. 103618. – DOI: 10.1016/j.jevs.2021.103618.
38. *Lassaline M., Cranford T.L., Bellone R.R.* The effect of UV-protective face masks on the incidence of ocular squamous cell carcinoma in horses // *Equine Veterinary Journal.* – 2023. – Vol. 55, N 4. – P. 623–629. – DOI: 10.1111/evj.13900.
39. *Calcium* electroporation: The bioelectrochemical treatment of spontaneous equine skin tumors results in a local necrosis / L. Galant, M. Delverdier, M.N. Lucas [et al.] // *Bioelectrochemistry.* – 2020. – Vol. 132. – P. 107432. – DOI: 10.1016/j.bioelechem.2019.107432.
40. *Frassetto C., Tamzali Y.* Local non-surgical therapies for equine cutaneous tumors: A review // *Journal of Equine Veterinary Science.* – 2024. – Vol. 132. – P. 104956. – DOI: 10.1016/j.jevs.2024.104956.
41. *Long-term* outcomes of strontium-90 brachytherapy for equine periocular squamous cell carcinoma / C.E. Plummer, S. Smith, S.E. Andrew [et al.] // *Veterinary Ophthalmology.* – 2021. – Vol. 24, N 3. – P. 255–262. – DOI: 10.1111/vop.12875.
42. *Kafarnik C., Rawlings M., Dubielzig R.R.* Corneal and conjunctival squamous cell carcinoma in the horse: A retrospective evaluation of 60 cases // *Veterinary Ophthalmology.* – 2022. – Vol. 25, N 2. – P. 145–153. – DOI: 10.1111/vop.12955.
43. *Montgomery K.W.* Ocular tumors in horses: An update on diagnosis and management // *Equine Veterinary Education.* – 2021. – Vol. 33, N 8. – P. 432–440. – DOI: 10.1111/evs.13345.
44. *Gelatt K.N.* Ophthalmic surgery in horses: Past, present, and future // *Veterinary Ophthalmology.* – 2023. – Vol. 26, N S1. – P. 5–15. – DOI: 10.1111/vop.13088.
45. *Electrochemotherapy* for the treatment of cutaneous melanomas in horses / E.P. Spugnini, A. Melillo, L. Quagliuolo [et al.] // *Frontiers in Veterinary Science.* – 2021. – Vol. 8. – P. 642576. – DOI: 10.3389/fvets.2021.642576.
46. *Rols M.P., Tamzali Y., Teissie J.* Electrochemotherapy of horses: 20 years of clinical experience // *Bioelectrochemistry.* – 2022. – Vol. 145. – P. 108089. – DOI: 10.1016/j.bioelechem.2022.108089.
47. *Sandmeyer L.S., Bauer B.S., Grahn B.H.* Diagnostic ophthalmology: Periocular neoplasia // *Canadian Veterinary Journal.* – 2021. – Vol. 62, N 5. – P. 521–522.
48. *Giuliano E.A.* Equine ocular adnexal and nasolacrimal disease: An update // *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice.* – 2022. – Vol. 38, N 3. – P. 493–510. – DOI: 10.1016/j.cveq.2022.07.001.
49. *Gearhart P.M., Steficek B.A., Petersen-Jones S.M.* Hemangiosarcoma and squamous cell carcinoma in the third eyelid of a horse: A case report // *Veterinary Ophthalmology.* – 2022. – Vol. 25, N 4. – P. 338–343. – DOI: 10.1111/vop.12988.
50. *Rayner S.G., Van Zyl N.* The use of mitomycin C as an adjunctive treatment for equine ocular squamous cell carcinoma // *Australian Veterinary Journal.* – 2021. – Vol. 99, N 6. – P. 245–251. – DOI: 10.1111/avj.13066.
51. *Chen S., Wang Y., Zhang H.* Advances in the understanding of UV-induced DNA damage repair in veterinary oncology // *Veterinary Sciences.* – 2023. – Vol. 10, N 2. – P. 112. – DOI: 10.3390/vetsci10020112.

52. Петров П.П., Иванов И.О. Опыт применения электрохимиотерапии при новообразованиях у мелких домашних животных // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4 (65). – С. 89–95. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-89-95.
53. Сидоров А.А., Смирнова Е.В. Генетические маркеры предрасположенности к онкологическим заболеваниям у животных // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 1(66). – С. 72–80. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-72-80.

REFERENCES

1. Abu-Seida A.M., Al-Akraa A.M., Diagnostic imaging of equine ocular and adnexal tumors: A review, *Journal of Equine Veterinary Science*, 2021, Vol. 102, 103627, DOI: 10.1016/j.jevs.2021.103627.
2. Bortoletto R., Castro M.B., Martins M.I.M. Destro V.Y., blepharoplasty for reconstruction of the lower eyelid in a horse, *Ciência Rural*, 2021, Vol. 51, No. 5, e20200259, DOI: 10.1590/0103-8478cr20200259.
3. Estell K.E., Ocular squamous cell carcinoma in the horse: Current concepts in diagnosis and treatment, *Equine Veterinary Education*, 2020, Vol. 32, No. 9, pp. 486–494, DOI: 10.1111/eve.13122.
4. Knickelbein K.E., Lassaline M.E., Bellone R.R., Equine ocular squamous cell carcinoma: A review of etiopathogenesis and emerging treatments, *Veterinary Ophthalmology*, 2020, Vol. 23, No. 4, pp. 617–627, DOI: 10.1111/vop.12787.
5. Bellone R.R., Liu J., Petersen J.L., et al., A missense mutation in damage-specific DNA binding protein 2 is a genetic risk factor for ocular squamous cell carcinoma in Belgian horses, *Equine Veterinary Journal*, 2020, Vol. 52, No. 1, pp. 34–40, DOI: 10.1111/evj.13124.
6. Tellado M.N., Michinski S.D., Ceballos M.B., et al., Electrochemotherapy in veterinary medicine: A review of indications and techniques, *Frontiers in Veterinary Science*, 2022, Vol. 9, pp. 880200, DOI: 10.3389/fvets.2022.880200.
7. Gehl J., Sersa G., Matthiessen L.W., et al., Updated standard operating procedures for electrochemotherapy of cutaneous tumours and skin metastases, *Acta oncologica*, 2018, Vol. 57, No. 7, pp. 874–882, DOI: 10.1080/0284186X.2018.1454602.
8. Kashani-Carver A., O'Halloran C., Scurrall E., et al., Equine conjunctival haemangiosarcoma: Clinical presentation, management, and outcome of seven cases in the United Kingdom, *Open Veterinary Journal*, 2023, Vol. 13, No. 10, pp. 1366–1378, DOI: 10.5455/OVJ.2023.v13.i10.17.
9. Sansom J., Donaldson D., Smith K., et al., Haemangiosarcoma involving the third eyelid in the horse: a case series, *Equine Veterinary Journal*, 2020, Vol. 52, No. 3, pp. 380–386, DOI: 10.1111/evj.13215.
10. Knottenbelt D.C., The Equine Sarcoid: Why Are There so Many Treatment Options? *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 2019, Vol. 35, No. 3, pp. 551–576, DOI: 10.1016/j.cveq.2019.08.011.
11. Da Silva M.A., Woolley C., Sanchez C., Detection of Equus caballus papillomavirus type 2 in equine squamous cell carcinoma, *Transboundary and Emerging Diseases*, 2022, Vol. 69, No. 4, pp. e1020–e1030, DOI: 10.1111/tbed.14399.
12. Giuliano E.A., Equine periocular squamous cell carcinoma: Current concepts and emerging therapies, *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 2020, Vol. 36, No. 3, pp. 621–635, DOI: 10.1016/j.cveq.2020.08.005.
13. Ramos-Vara J.A., Miller M.A., Pace L.W., et al., Metastatic squamous cell carcinoma in a horse, *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 2021, Vol. 33, No. 4, pp. 788–792, DOI: 10.1177/10406387211017645.
14. Mosunic C.B., Moore P.A., Carmichael K.P., et al., Outcomes of ocular and adnexal squamous cell carcinoma in horses treated with surgery alone or surgery combined with adjunctive treatment, *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 2020, Vol. 256, No. 11, pp. 1245–1252, DOI: 10.2460/javma.256.11.1245.
15. Chen L., Bellone R.R., Singer-Berk M., Artandi S.E., A novel DDB2 mutation causes defective DNA binding of UV-DDB and prevalent equine squamous cell carcinoma, *DNA Repair*, 2020, Vol. 97, pp. 103024, DOI: 10.1016/j.dnarep.2020.103024.
16. Crausaz M., Launois T., Smith-Fleming K., et al., DDB2 Genetic Risk Factor for Ocular Squamous Cell Carcinoma Identified in Three Additional Horse Breeds, *Genes*, 2020, Vol. 11, No. 12, 1460, DOI: 10.3390/genes11121460.
17. Knickelbein K.E., Lassaline M., Bellone R.R., Limbal squamous cell carcinoma in a Rocky Mountain Horse: Case report and investigation of genetic contribution, *Veterinary Ophthalmology*, 2019, Vol. 22, No. 2, pp. 201–205, DOI: 10.1111/vop.12625.
18. Singer-Berk M., Knickelbein K.E., Vig S., et al., GWAS identifies a risk locus for equine ocular squamous cell carcinoma in Haflinger horses, *Animal Genetics*, 2020, Vol. 51, No. 4, pp. 577–584, DOI: 10.1111/age.12948.
19. Lassaline M., Cranford T.L., Latimer C.A., Bellone R.R., Genetic testing for the DDB2 mutation in horses with ocular squamous cell carcinoma, *Equine Veterinary Journal*, 2022, Vol. 54, No. 5, pp. 912–918, DOI: 10.1111/evj.13522.
20. Nasir L., Campo M.S., Bovine papillomavirus: biology and pathogenesis, *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 2021, Vol. 37, No. 1, pp. 65–78, DOI: 10.1016/j.cveq.2020.12.003.
21. Knottenbelt D.C., Toth B., Pearson G., et al., A prospective study of the treatment of equine sarcoids by a variety of methods, *Equine Veterinary Journal*, 2023, Vol. 55, No. 2, pp. 245–256, DOI: 10.1111/evj.13855.
22. Mathes R.L., Carmalt J.L., Campbell J., Lacrimal gland adenocarcinoma in a horse, *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 2021, Vol. 33, No. 3, pp. 567–570, DOI: 10.1177/10406387211008954.
23. Muhlbauer A.C.M., Ortlieb I.F., Bastiani G., et al., Adenocarcinoma em glândula lacrimal de equino, *Acta Scientiae Veterinariae*, 2022, Vol. 50, Supl. 1, pp. 775, DOI: 10.22456/1679-9216.121234.

24. Chiwitt C.L.H., Scurrall E.J., Featherstone H.J., Heinrich C.L., Bilateral third eyelid ectopic cilia in an adult horse, *Veterinary Ophthalmology*, 2021, Vol. 24, No. 2, pp. 187–192, DOI: 10.1111/vop.12855.
25. Scherrer N.M., Lassaline M., Engiles J., Ocular and periocular hemangiosarcoma in six horses, *Veterinary Ophthalmology*, 2020, Vol. 23, No. 3, pp. 521–527, DOI: 10.1111/vop.12755.
26. Estell K., Periocular Neoplasia in the Horse, *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 2023, Vol. 39, No. 1, pp. 155–172, DOI: 10.1016/j.cveq.2022.11.010.
27. Giuliano E.A., McDonald J.E., LoPinto A.J., et al., Immunohistochemical characterization of equine ocular squamous cell carcinoma, *Veterinary Ophthalmology*, 2021, Vol. 24, No. S1, pp. 142–150, DOI: 10.1111/vop.12845.
28. Drazek A., Dziegiel B., Kubiak K., Ultrasonographic evaluation of periocular masses in horses, *Journal of Equine Veterinary Science*, 2020, Vol. 88, pp. 102968, DOI: 10.1016/j.jevs.2020.102968.
29. Manso-Díaz G., García-López J.M., Taeymans O., Advanced imaging of the equine head: CT and MRI, *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 2022, Vol. 38, No. 1, pp. 141–164, DOI: 10.1016/j.cveq.2021.11.009.
30. Hewes C.A., Sullins K.E., Use of a bipedicle lip flap for reconstruction of the lower eyelid in horses: Long-term follow-up, *Veterinary Surgery*, 2021, Vol. 50, No. 4, pp. 812–819, DOI: 10.1111/vsu.13610.
31. Steinmetz A., Wohlsein P., Mischke R., et al., Sliding skin flap (hemi-H-plasty) for reconstruction of palpebral defects in horses, *Veterinary Surgery*, 2020, Vol. 49, N 5, pp. 981–988, DOI: 10.1111/vsu.13422.
32. Jeanes E.C., Koll-Hampp S., Dawson C., et al., Rhomboid blepharoplasty and cryotherapy for the treatment of a squamous cell carcinoma on the lower eyelid in a horse, *Clinical Case Reports*, 2019, Vol. 7, No. 1, pp. 40–46, DOI: 10.1002/ccr3.1901.
33. Spugnini E.P., Baldi A., Electrochemotherapy in veterinary oncology: State-of-the-art and perspectives, *Veterinary and Comparative Oncology*, 2020, Vol. 18, No. 3, pp. 287–296, DOI: 10.1111/vco.12564.
34. Tamzali Y., Borde L., Rols M.P., et al., Successful treatment of equine periocular neoplasia with electrochemotherapy: A 10-year retrospective study, *Equine Veterinary Journal*, 2021, Vol. 53, No. 5, pp. 934–941, DOI: 10.1111/evj.13378.
35. Tozon N., Kramaric P., Kos Kadunc V., et al., Electrochemotherapy as a single treatment or adjuvant treatment to surgery of cutaneous sarcoid tumours in horses: A 15-year retrospective study, *Veterinary Record*, 2022, Vol. 190, No. 8, e1375, DOI: 10.1002/vetr.1375.
36. Malalana F., Knottenbelt D.C., McKane S.A., The use of intralesional mitomycin C for the treatment of equine periocular squamous cell carcinoma: Long-term follow-up, *Equine Veterinary Journal*, 2021, Vol. 53, No. 3, pp. 498–503, DOI: 10.1111/evj.13312.
37. Surjan Y., Donaldson D., Ostwald P., Milross C., A systematic review of treatment outcomes for equine ocular and periocular squamous cell carcinoma, *Journal of Equine Veterinary Science*, 2021, Vol. 102, pp. 103618, DOI: 10.1016/j.jevs.2021.103618.
38. Lassaline M., Cranford T.L., Bellone R.R., The effect of UV-protective face masks on the incidence of ocular squamous cell carcinoma in horses, *Equine Veterinary Journal*, 2023, Vol. 55, No. 4, pp. 623–629, DOI: 10.1111/evj.13900.
39. Galant L., Delverdier M., Lucas M.N., et al., Calcium electroporation: The bioelectrochemical treatment of spontaneous equine skin tumors results in a local necrosis, *Bioelectrochemistry*, 2020, Vol. 132, pp. 107432, DOI: 10.1016/j.bioelechem.2019.107432.
40. Frassetto C., Tamzali Y., Local non-surgical therapies for equine cutaneous tumors: A review, *Journal of Equine Veterinary Science*, 2024, Vol. 132, pp. 104956, DOI: 10.1016/j.jevs.2024.104956.
41. Plummer C.E., Smith S., Andrew S.E., et al., Long-term outcomes of strontium-90 brachytherapy for equine periocular squamous cell carcinoma, *Veterinary Ophthalmology*, 2021, Vol. 24, No. 3, pp. 255–262, DOI: 10.1111/vop.12875.
42. Kafarnik C., Rawlings M., Dubielzig R.R., Corneal and conjunctival squamous cell carcinoma in the horse: A retrospective evaluation of 60 cases, *Veterinary Ophthalmology*, 2022, Vol. 25, No. 2, pp. 145–153, DOI: 10.1111/vop.12955.
43. Montgomery K.W., Ocular tumors in horses: An update on diagnosis and management, *Equine Veterinary Education*, 2021, Vol. 33, No. 8, pp. 432–440, DOI: 10.1111/eve.13345.
44. Gelatt K.N., Ophthalmic surgery in horses: Past, present, and future, *Veterinary Ophthalmology*, 2023, Vol. 26, No. S1, pp. 5–15, DOI: 10.1111/vop.13088.
45. Spugnini E.P., Melillo A., Quagliuolo L., et al., Electrochemotherapy for the treatment of cutaneous melanomas in horses, *Frontiers in Veterinary Science*, 2021, Vol. 8, pp. 642576, DOI: 10.3389/fvets.2021.642576.
46. Rols M.P., Tamzali Y., Teissié J., Electrochemotherapy of horses: 20 years of clinical experience, *Bioelectrochemistry*, 2022, Vol. 145, pp. 108089, DOI: 10.1016/j.bioelechem.2022.108089.
47. Sandmeyer L.S., Bauer B.S., Grahn B.H., Diagnostic ophthalmology: Periocular neoplasia, *Canadian Veterinary Journal*, 2021, Vol. 62, No. 5, pp. 521–522.
48. Giuliano E.A., Equine ocular adnexal and nasolacrimal disease: An update, *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 2022, Vol. 38, No. 3, pp. 493–510, DOI: 10.1016/j.cveq.2022.07.001.
49. Gearhart P.M., Steficek B.A., Petersen-Jones S.M., Hemangiosarcoma and squamous cell carcinoma in the third eyelid of a horse: A case report, *Veterinary Ophthalmology*, 2022, Vol. 25, No. 4, pp. 338–343, DOI: 10.1111/vop.12988.
50. Rayner S.G., Van Zyl N., The use of mitomycin C as an adjunctive treatment for equine ocular squamous cell carcinoma, *Australian Veterinary Journal*, 2021, Vol. 99, No. 6, pp. 245–251, DOI: 10.1111/avj.13066.

51. Chen S., Wang Y., Zhang H., Advances in the understanding of UV-induced DNA damage repair in veterinary oncology, *Veterinary Sciences*, 2023, Vol. 10, No. 2, pp. 112, DOI: 10.3390/vetsci10020112.
52. Petrov P.P., Ivanov I.O., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, No. 4(65), pp. 89–95, DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-89-95. (In Russ.)
53. Sidorov A.A., Smirnova E.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, No. 1(66), pp. 72–80, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-72-80. (In Russ.)

Информация об авторах:

Е.Е. Глущенко, кандидат ветеринарных наук

В.В. Глущенко, кандидат ветеринарных наук, доцент

Е.В. Дробот, кандидат биологических наук

О.А. Зайко, кандидат биологических наук

Contribution of the authors:

E.E. Glushchenko, Candidate of Veterinary Sciences

V.V. Glushchenko, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor

E.V. Drobot, Candidate of Biological Sciences

O.A. Zaiko, Candidate of Biological Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

НОВЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ВИБРАЦИОННОГО МАССАЖА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

¹Н.Н. Горб, ²Ю.Г. Юшков, ²Е.Ю. Смертина, ³А.В. Павлов, ¹А.А. Мерк

¹Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, Новосибирск, Россия

²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

E-mail: natalya-gorb@mail.ru

Для цитирования: Новый прибор для вибрационного массажа сельскохозяйственных животных / Н.Н. Горб, Ю.Г. Юшков, Е.Ю. Смертина, А.В. Павлов, А.А. Мерк // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 98–104. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-98-104.

Реферат. Исследования проведены на базе лаборатории воспроизводства и адаптации сельскохозяйственных животных Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН), п. Краснообск. Авторами разработано новое устройство для вибрационного массажа продуктивных животных «Амига», которое отличается небольшой массой — 650 г и наличием автономного блока питания, обеспечивающего продолжительность работы без подзарядки до 10 ч. Конструкция устройства позволяет проводить вибрационный массаж продуктивных животных как в условиях стационара, так и в полевых условиях. Герметичное выполнение корпусов центрального блока питания и управления и электромеханических вибрационных блоков устройства из пригодных для обработки дезинфицирующими средствами материалов позволяет обеспечить санитарные требования к устройству и возможность его использования в животноводческих помещениях в условиях повышенной влажности и запыленности. Высокая надежность устройства достигнута за счет минимизации количества подвижных элементов, а также расположения электронной и механической части устройства в корпусах, механически не связанных между собой, для исключения воздействия механической вибрации на электронную часть устройства. Эффективность работы устройства подтверждена в производственном опыте: объем молока, полученный от коров в ручном додое при воздействии вибрационного массажа крестцово-поясничной области в течение 5 мин, превышал на 62,31 % ($p \leq 0,01$) объем молока, полученного от коров без дополнительного воздействия.

Ключевые слова: физиотерапия, вибрационный массаж, конструктивные элементы, устройство для вибрационного массажа, ручной додой, остаточное количество молока.

NEW DEVICE FOR VIBRATION MASSAGE OF FARM ANIMALS

¹N.N. Gorb, ²Y.G. Yushkov, ²E.Yu. Smertina, ³A.V. Pavlov, ¹A.V. Merk

¹Siberian State University of Engineering and Biotechnology, Novosibirsk, Russia

²Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies RAS, Novosibirsk, Russia

³Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

E-mail: natalya-gorb@mail.ru

Abstract. The research was conducted at the Laboratory of Reproduction and Adaptation of Farm Animals of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences (SFNCAB RAS), Krasnoobsk village. The authors have developed a new device for vibration massage of productive animals called “Amiga”, which is characterized by its small mass—650 g—and an autonomous power supply unit that ensures operation without recharging up to 10 hours. The design allows conducting vibration massage both in stationary conditions and in field settings. Sealing of the central power supply block, control units, and electromechanical vibrating blocks from materials suitable for processing with disinfectants meets sanitary requirements and enables use in livestock facilities under high humidity and dust levels. High reliability has been achieved through minimizing moving parts and locating electronic and mechanical components separately within different housings not mechanically connected to each other, thus preventing mechanical vibration impact on the electronics. The effectiveness of the device was confirmed during production trials: the volume of milk obtained manually after applying five minutes of vibration massage to the sacral-lumbar region exceeded the volume collected from cows without additional stimulation by 62.31% ($p \leq 0.01$).

Keywords: Physiotherapy, vibration massage, structural elements, device for vibration massage, manual milking; residual amount of milk.

Физиотерапевтические процедуры, как весьма эффективный метод лечения заболеваний, в том числе гинекологических, хорошо зарекомендовали себя в гуманитарной медицине [1–4]. В ветеринарной медицине физиотерапевтические процедуры, в силу недоступности приборного обеспечения и ограниченной возможности применения имеющихся приборов, используются незаслуженно редко.

Для проведения физиотерапевтических процедур в условиях ветеринарных клиник и животноводческих ферм необходимо использовать специальные устройства, адаптированные для специфических условий окружающей среды (повышенная влажность, запыленность, низкая температура и т.д.), разработка таких приборов является актуальной.

Одним из перспективных физиотерапевтических методов не только в гуманитарной, но и в ветеринарной медицине является вибрационный массаж [5–7]. Еще в 1996 г. Н. Nakamura с соавт. показали, что вибрация, используемая в научных целях, влияет на кровоток иначе, чем вибрация, возникающая в профессиональной среде [8]. Их исследования показывали, что вибрация всего тела влияет на кровоток в артериях.

Сущность зонального вибрационного массажа заключается в передаче гармонических и направленных колебаний определенной частоты на целевую зону тела. Действие вибрационный массаж оказывает не только в месте приложения вибрационных элементов устройств, но и по периферии и вглубь от места приложения вибрационных элементов, вызывая различные ответные реакции организма. Вибрационный массаж может вызывать отдаленные реакции моторновисцеральных, кожновисцеральных, а иногда и висцеро-висцеральных рефлексов. Вибрационный массаж оказывает положительное влияние на трофику тканей и сократительную функцию мышц [9].

Среди физиотерапевтических процедур, действие которых направлено на область вымени, наибольшее распространение получили механизированные виды массажа [10–13]. Доказано, что воздействие низкочастотной вибрации на вымя коров во время автоматического доения является неинвазивным и эффективным методом стимуляции кровообращения в вымени и улучшения состояния сосков и вымени [14]. Во время воспаления тщательно подобранные физиологически резонансные частоты могут как подавлять дисгармоничные колебания, возникающие в пораженных клетках, так и нормализовать обменные процессы, ускоряя транспорт продуктов воспаления за счет известного эффекта повышения проницаемости сосудов, при этом регистрируются слабые токи, вызванные потенциалами самих клеток вымени. Возможно, именно этим и можно объяснить эффективность механических вибраций в профилактике и лечении клинического и субклинического мастита у крупного рогатого скота [15].

Ограниченное приборное обеспечение при высоком потенциале вибрационного массажа в ветеринарной практике обосновывает актуальность разработки приборов, применение которых возможно в производственных условиях.

Целью данной работы являлась разработка устройства для проведения вибрационного массажа у продуктивных животных.

Задачи:

1. Изготовить опытный образец устройства для вибрационного массажа в соответствии с техническим заданием;
2. Изучить влияние вибрационного массажа области поясницы и крестца у коров новым прибором «Амига» на объем молока при ручном додое.

Научная новизна проведенных исследований заключается в разработке конструкции, теоретическом обосновании уникальности и создании опытного образца нового устройства для вибрационной физиотерапии – аппарата «Амига».

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены на базе лаборатории воспроизводства и адаптации сельскохозяйственных животных Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН), п. Краснообск. Физиотерапевтическое устройство для проведения вибрационного массажа продуктивных сельскохозяйственных животных сконструировано в соответствии с техническим заданием. Ключевые требования к устройству: возможность проведения вибрационного массажа сельскохозяйственных животных как в условиях стационара, так и в полевых условиях; возможность обработки дезинфицирующими средствами; повышенная надежность.

Изготовление устройства осуществлялось с использованием паяльной станции Element 878D, аналогового осциллографа GW Instek GOS-6051, генератора импульсов GW Instek GFG 8216A, цифрового осциллографа Rigol ds 1052e, вольтметра универсального GW Instek GDM-78341.

Материалы, использованные для изготовления устройства: электронные компоненты, штампованные корпусные изделия из качественного акрилонитрилбутадиенстирол-пластика, кабель гибкий хладостойкий соединительный $2 \times 0,75$, провод медный гибкий многожильный, изолированный фторопластом-4 $1 \times 0,5$, припой оловянно-свинцовый марки ПОС-61, припой оловянно-серебряный Felder lottechnik, паста паяльная канифольно-вазелиновая, стеклотекстолит фольгированный СФ-2Н, клей цианакрилатный.

Оценку функционирования разработанного устройства для вибрационного массажа проводили в производственных условиях по изменению объема молока в ручном додое после утренней дойки. С этой целью из клинически здоровых коров в возрасте 3–4 лет (2-я лактация) со среднесуточным удоем 20–25 кг, имеющих 7–10 дней в доении и показавших отрицательную реакцию с кенотестом на наличие повышенного количества соматических клеток в молоке (субклинический мастит), было сформировано две группы по 10 коров в каждой: опытная и контрольная. Электромеханические вибрационные блоки размещали в области остистых отростков позвонков поясничного и крестцового отдела (зона проекции матки) и фиксировали эластичными ремнями. Вибрационное воздействие на крестцово-седалищную область осуществляли в течение 5 мин. Объем молока в ручном додое определяли как после завершения утреннего машинного доения, так и после вибрационного массажа.

Данные об объеме молока, полученного в ручном додое, соответствовали гауссовскому распределению. Для оценки различий между выборками использовали критерий Манна–Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В соответствии с целью работы сконструирован и изготовлен образец физиотерапевтического устройства для проведения вибрационного массажа продуктивных животных. Конструкционная структурная схема устройства представлена на рис. 1.

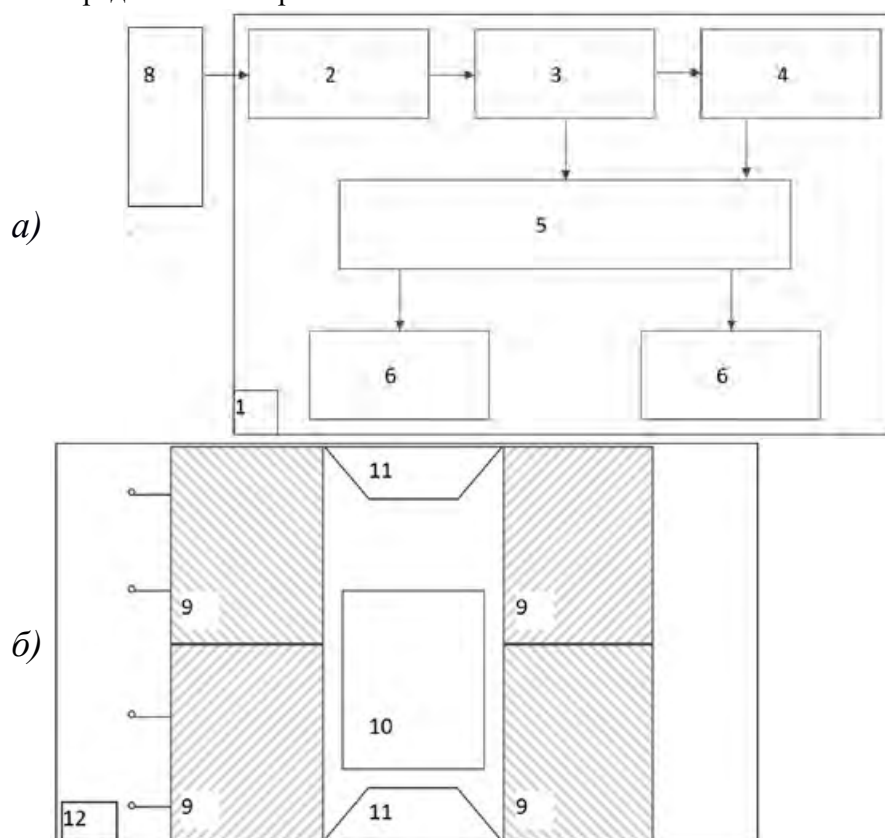


Рис. 1. Схема устройства для вибрационного массажа: а — центральный блок питания и управления; б — электромеханический виброблок:

1 — центральный блок устройства; 2 — внутренний источник питания; 3 — стабилизатор напряжения; 4 — таймер; 5 — генератор управляющих импульсов; 6 — выходной усилитель; 7 — электромеханический виброблок; 8 — зарядное устройство; 9 — обмотки электромагнитов вибратора; 10 — намагниченный подвижный сердечник; 11 — эластичные упоры; 12 — корпус электромеханического вибратора

Fid 1. Diagram of a device for vibration massage

Принцип работы устройства заключается в следующем: электромеханические вибраторы (7) закрепляют на поверхности тела животного таким образом, чтобы корпус вибратора плотно прилегал к необходимой области воздействия. (Рекомендовано применение эластичных ремней). Центральный блок устройства (1) располагается в любом удобном для оператора месте. Нажатием кнопки «вкл/выкл» проводят включение питания устройства, при нажатии кнопки «пуск» включается встроенный таймер, настроенный на фиксированное время воздействия (от 5 до 10 мин) и устройство переходит в рабочий режим, обеспечивая воздействие механической вибрации на необходимую область животного. По истечении установленного времени устройство автоматически отключается.

Источник питания устройства (2) для вибрационного массажа имеет выходное напряжение 12 В и в рабочем режиме гальванически не связан (отключен) с сетевым напряжением 220 В, что в итоге обеспечивает электрическую безопасность в условиях повышенной влажности в животноводческих помещениях. Устройство подключается к сети 220 В через зарядное устройство (8) на время заряда аккумуляторов. Напряжение питания стабилизировано стабилизатором напряжения (3), что является необходимым фактором для соблюдения частоты и амплитуды вибрации. Стабилизированное напряжение подается на таймер (4), обеспечивая постоянство времени экспозиции, а также на генератор импульсов (5), имеющий два выхода, на которых поочередно генерируются выходные импульсы таким образом, что наличие импульса на одном выходе исключает наличие импульса на другом выходе. Импульсы с выходов генератора поступают на выходные усилители (6), являющиеся управляющими ключами, далее с их выходов импульсы тока поочередно поступают на обмотки электромагнитов вибраторов (9), заставляя возвратно-поступательно перемещаться намагниченный подвижный сердечник (10), который, в свою очередь, через эластичные упоры (11) передает энергию механических колебаний на корпус вибратора (12), а следовательно, и на необходимую область тела животного.

Разработанное устройство для вибрационного массажа продуктивных животных (рис. 2) отличается малыми габаритами и массой – 650 г и наличием автономного блока питания, обеспечивающего продолжительность работы без подзарядки до 10 ч.



Рис. 2. Устройство для вибрационного массажа

Оценку работы нового устройства для вибрационного массажа производили в производственных условиях молочно-товарной фермы. С этой целью у десяти коров опытной группы по завершении машинного доения проводили ручной додой, далее вибрационный массаж пояснично-крестцовой

области в базовом режиме в течение 5 мин, после его окончания – повторный ручной додой. У десяти коров контрольной группы производили ручной додой сразу после утреннего доения, повторно – через 7 мин (время, затраченное на фиксацию прибора и вибрационный массаж опытной группы) после первого ручного додая.

Объем молока, полученного от коров в ручном додое после отключения доильных аппаратов, в опытной группе составил $40,0 \pm 1,5$ мл, в контрольной был на 5,5 мл больше ($p \leq 0,05$) – $45,5 \pm 0,7$ мл. У коров контрольной группы в повторном ручном додое было получено $24,5 \pm 0,4$ мл молока, тогда как у коров после вибрационного массажа получено молока на 40,5 мл больше ($p \leq 0,01$) – $65,0 \pm 3,5$ мл.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Возможность проведения вибрационного массажа продуктивных животных как в условиях стационара, так и в полевых условиях обеспечивается малыми габаритами и весом устройства и наличия автономного низковольтного источника питания. Герметичное выполнение корпусов центрального блока питания и управления и электромеханических вибрационных блоков устройства из пригодных для обработки дезинфицирующими средствами материалов позволяет обеспечить санитарные требования к устройству и возможность его использования в животноводческих помещениях в условиях повышенной влажности и запыленности. Высокая надежность устройства достигнута за счет минимизации количества подвижных элементов, а также расположения электронной и механической части устройства в корпусах, механически не связанных между собой, для исключения воздействия механической вибрации на электронную часть устройства.

Еще в 2011 г. нами был проведен опыт по оценке объема молока в ручном додое после вибрационного массажа пояснично-крестцовой области аппаратом «Велмас» и доказана его эффективность в стимуляции молокоотдачи [16]. В настоящем исследовании получен аналогичный результат, увеличение объема молока после вибрационного массажа в повторном ручном додое подтверждает стимулирующее влияние вибрационного воздействия в пояснично-крестцовой области разработанного нами прибора. Данный прибор для вибрационного массажа получил название «Амига».

ВЫВОДЫ

1. Разработана конструкция и создан опытный образец устройства (патент РФ № 2786960 С1) для вибрационного массажа продуктивных животных – физиотерапевтический аппарат «Амига».
2. Доказана эффективность аппарата «Амига» в стимуляции молокоотдачи у коров. Объем молока, полученный от коров в ручном додое при воздействии вибрационного массажа крестцово-поясничной области аппаратом «Амига» в течение 5 мин, превышал на 62,31 % ($p \leq 0,01$) объем молока, полученного от коров без дополнительного воздействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Eryilmaz S., Uçar T. The Effects of Acupressure and Massage on Pain, Menstrual Symptoms, and Quality of Life in Primary Dysmenorrhea: A Randomized Controlled Trial // Journal of Integrative and Complementary Medicine. – 2024. – DOI: 10.1089/jicm.2023.0721.
2. Роль различных факторов воздействия на эндометрий в повышении эффективности программ вспомогательных репродуктивных технологий / Я.А. Гохберг, Н.П. Макарова, А.А. Бабаян, Е.А. Калинина // Акушерство и гинекология. – 2021. – № 1. – С. 28–34. – DOI: 10.18565/aig.2021.1.28-34.
3. Флуоресцентная диагностика и фотодинамическая терапия: перспективность применения в гинекологической и онкогинекологической практике / Н.В. Зароченцева, Е.В. Филоненко, И.И. Баранов [и др.] // Российский вестник акушера-гинеколога. – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 37–45. – DOI: 10.17116/rosakush20212103137.
4. Лебедев М.В., Керимова К.И. Оптимизация оказания специализированной медицинской помощи пациентам с новообразованиями челюстно-лицевой области на территории Пензенской области России // Biomedical Photonics. – 2021. – Т. 10, № 1. – С. 32–38. – DOI: 10.24931/2413-9432-2021-10-1-32-38.
5. Natural photosensitizer-loaded in micellar copolymer to prevent bovine mastitis: A new post-dipping protocol on milking / R.C. da S. Junior, K. da S.S. Campanholi, B.C. Maciel [et al.] // Photodiagnosis and Photodynamic Therapy. – 2023. – Vol. 42. – P. 103337. – DOI: 10.1016/j.pdpdt.2023.103337.

6. *Врожденный передний вывих голени: неинвазивный метод лечения* / И.Ю. Круглов, Н.Ю. Румянцев, Г.Г. Омаров [и др.] // *Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии*. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 33–44. – DOI: 10.17816/psaic1775.
7. *Сочетанное применение ароматерапии и аппаратного вибромассажа в медицинской реабилитации пациентов с дорсопатиями* / А.В. Шакула, Л.Г. Агасаров, Т.В. Кончугова, И.А. Бокова // *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. – 2022. – Т. 99, № 3–2. – С. 206–207.
8. *Change in digital blood flow with simultaneous reduction in plasma endothelin induced by hand-arm vibration* / H. Nakamura, T. Okazawa, H. Nagase [et al.] // *International Archives of Occupational and Environmental Health*. – 1996. – Vol. 68, No. 2. – P. 115–119. – DOI: 10.1007/bf00381243.
9. *Вибротерапия в лечебной практике* / В.В. Кирьянова, М.Ю. Герасименко, М.Н. Шорохова, К.В. Горбачева // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. – 2020. – Т. 19, № 3. – С. 171–177. – DOI: 10.17816/1681-3456-2020-19-3-5.
10. *Каюмов Р.Р. Совершенствование устройств для массажа вымени нетелей* // *Техника и технологии в животноводстве*. – 2021. – № 3(43). – С. 27–32. – DOI: 10.51794/27132064-2021-3-27.
11. *Курочкин А.А., Фролов Д.И., Зимняков В.М. Обоснование рабочего процесса устройства для комбинированного массажа вымени нетелей* // *Техника и технологии в животноводстве*. – 2021. – № 3(43). – С. 10–16. – DOI: 10.51794/27132064-2021-3-10.
12. *Обоснование интенсивности вакуумной нагрузки на молочную железу нетелей при подготовке их к лактации* / В.М. Зимняков, Д.Г. Погосян, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов // *Техника и технологии в животноводстве*. – 2021. – № 2(42). – С. 23–28. – DOI: 10.51794/27132064-2021-2-23.
13. *Зимняков В.М., Курочкин А.А. Влияние временных параметров подготовки нетелей к лактации на формирование рефлекса молокоотдачи у коров-первотелок* // *Техника и технологии в животноводстве*. – 2021. – № 1(41). – С. 42–45. – DOI: 10.51794/27132064-2021-1-42.
14. *Effect of low frequency oscillations during milking on udder temperature and welfare of dairy cows* / A. Sederevičius, V. Oberauskas, R. Želvytė [et al.] // *Journal of Animal Science and Technology*. – 2023. – Vol. 65, No. 1. – P. 244–257. – DOI: 10.5187/jast.2022.e74.
15. *New treatment option for clinical and subclinical mastitis in dairy cows using acoustic pulse technology (APT)* / G. Leitner, E. Papirov, D. Gilad [et al.] // *Dairy*. – 2021. – Т. 2, №. 2. – P. 256–269.
16. *Юшков Ю.Г., Смертина Е.Ю., Петляковский А.В. Влияние вибромассажа на сократительную способность миоэпителия вымени у коров* // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2011. – № 4(20). – С. 100–102.

REFERENCES

1. Eryilmaz S., Uçar T., The Effects of Acupressure and Massage on Pain, Menstrual Symptoms, and Quality of Life in Primary Dysmenorrhea: A Randomized Controlled Trial, *Journal of Integrative and Complementary Medicine*, 2024, DOI: 10.1089/jicm.2023.0721.
2. Gokhberg Ya.A., Makarova N.P., Babayan A.A., Kalinina E.A., *Akusherstvo i ginekologiya*, 2021, No. 1, pp. 28–34, DOI: 10.18565/aig.2021.1.28-34. (In Russ.)
3. Zarochentseva N.V., Filonenko E.V., Baranov I.I., Rovinskaya O.V., Trushina O.I., Novikova E.G., *Rossiiskii vestnik akushera-ginekologa*, 2021, Vol. 21, No. 3, pp. 37–45, DOI: 10.17116/rosakush20212103137. (In Russ.)
4. Lebedev M.V., Kerimova K.I., *Biomedical Photonics*, 2021, Vol. 10, No. 1, pp. 32–38, DOI: 10.24931/2413-9432-2021-10-1-32-38. (In Russ.)
5. Junior R.C.da.S., Campanholi K.da.S.S., Maciel B.C. [et al.], *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 2023, Vol. 42, p. 103337, DOI: 10.1016/j.pdpdt.2023.103337.
6. Kруглов И.Ю., Румянцев Н.Ю., Омаров Г.Г., Смирнов С.С., Когантсов И.М. *Rossiiskii vestnik detskoi khirurgii, anesteziologii i reanimatologii*, 2024, Vol. 14, No. 1, pp. 33–44, DOI: 10.17816/psaic1775. (In Russ.)
7. Shakula A.V., Agasarov L.G., Konchugova T.V., Bokova I.A., *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kul'tury*, 2022, Vol. 99, No. 3–2, pp. 206–207.
8. Nakamura H., Okazawa T., Nagase H., Yoshida M., Arüzumi M., Okada A. Change in digital blood flow with simultaneous reduction in plasma endothelin induced by hand-arm vibration, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 1996, Vol. 68, No. 2, pp. 115–119, DOI: 10.1007/bf00381243.
9. Kir'yanova V.V., Gerasimenko M.Yu., Shorokhova M.N., Gorbacheva K.V., *Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya*, 2020, Vol. 19, No. 3, pp. 171–177, DOI: 10.17816/1681-3456-2020-19-3-5. (In Russ.)
10. Kajumov R.R., *Tehnika i tehnologii v zhitovnovodstve*, 2021, Vol. 3, No. 43, pp. 27–32, DOI: 10.51794/27132064-2021-3-27. (In Russ.)
11. Kurochkin A.A., Frolov D.I., Zimnjakov V.M., *Tehnika i tehnologii v zhitovnovodstve*, 2021, Vol. 3, No. 43, pp. 10–16, DOI: 10.51794/27132064-2021-3-10. (In Russ.)

12. Zimnjakov V.M., Pogosjan D.G., Kurochkin A.A., Frolov D.I., *Tehnika i tehnologii v zhivotnovodstve*, 2021, Vol. 2, No. 42, pp. 23–28, DOI: 10.51794/27132064-2021-2-23. (In Russ.)
13. Zimnjakov V.M., Kurochkin A.A., *Tehnika i tehnologii v zhivotnovodstve*, 2021, Vol. 1, No. 41, pp. 42–45, DOI: 10.51794/27132064-2021-1-42. (In Russ.)
14. Sederevičius A., Oberauskas V., Želvytė R., Žymantienė J., Musayeva K., Žemaitis J., Vėžys J., Effect of low frequency oscillations during milking on udder temperature and welfare of dairy cows, *Journal of Animal Science and Technology*, 2023, Vol. 65, No. 1, pp. 244–257, DOI: 10.5187/jast.2022.e74.
15. Leitner G., Papirov E., Gilad D., Haran D., Arkin O., Zuckerman A., Lavon Y., New treatment option for clinical and subclinical mastitis in dairy cows using acoustic pulse technology (APT), *Dairy*, 2021, Vol. 2, No. 2, pp. 256–269.
16. Yushkov Yu.G., Smertina E.Yu., Petlyakovskii A.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2011, No. 4(20), pp. 100–102. (In Russ.)

Информация об авторах:

Н.Н. Горб, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры терапии, хирургии и акушерства ФГБОУ ВО Университет биотехнологий

Ю.Г. Юшков, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник СФНЦА РАН ИЭВСиДВ

Е.Ю. Смертина, доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник СФНЦА РАН ИЭВСиДВ

А.В. Павлов, кандидат биологических наук, доцент кафедры систем сбора и обработки данных ФГБОУ ВО НГТУ

А.В. Мерк, аспирант кафедры терапии, хирургии и акушерства ФГБОУ ВО Университет биотехнологий

Contribution of the authors:

N.N. Gorb, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Therapy, Surgery and Obstetrics

Yu.G. Yushkov, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher

E.Yu. Smertina, Doctor of Veterinary Sciences, Chief Researcher

A.V. Pavlov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Data Collection and Processing Systems

A.V. Merk, postgraduate student of the Department of Therapy, Surgery and Obstetrics

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЛЕКЦИОННЫХ ГРУПП БЫЧКОВ КАЗАХСКОЙ БЕЛОГОЛОВОЙ ПОРОДЫ

А.С. Дуров

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

E-mail: animal@sfsca.ru

Для цитирования: Дуров А.С. Использование кластерного анализа для оценки селекционных групп бычков казахской белоголовой породы // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 105–116. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-105-116.

Реферат. Объектом исследования являлись племенные животные казахской белоголовой породы, используемой для производства говядины в мясном скотоводстве. Цель работы – проведение хозяйственно-биологической оценки популяции животных казахской белоголовой породы в условиях Алтайского края. Проведена оценка бычков казахской белоголовой породы от рождения до 15 мес. Оцениваемые признаки: живая масса, относительный и среднесуточный прирост, оценка мясных форм, комплексный индекс. При сравнении животных были оценены генеалогические линии, распределение особей по ранговой продуктивности и соответствие этих групп параметрам выделенных кластеров. Кластерный анализ был проведен при использовании живой массы в 8 и 15 мес., комплексного индекса А. В каждой паре признаков выявлено распределение животных на 6 кластеров. Установлено, что характеристики животных большинства линий соответствуют кластерам, которые охватывают выборку особей со средним уровнем продуктивности. А при анализе распределения животных в зависимости от продуктивности установлено, что животные высокопродуктивной группы стремятся к значениям ядра кластера № 5, со средней продуктивностью кластера № 3, а низкопродуктивные – кластеров № 1 и 2. Кластерный анализ продуктивных качеств позволяет выявить фенотипически обособленные группы бычков в стадах казахской белоголовой породы. Оптимальные границы ядер кластеров, предназначенных для выделения лучших животных, находятся в следующих пределах: по живой массе в 8 мес. 303–345 кг, в 15 мес. 551–609, по комплексному индексу А 109–116 %.

Ключевые слова: разведение, селекция, линия, селекционная группа, живая масса, кластер, параметры отбора, казахская белоголовая порода.

USING CLUSTER ANALYSIS TO EVALUATE BREEDING GROUPS OF KAZAKH WHITE-HEAD BULLS

A.S. Durov

Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russia

E-mail: animal@sfsca.ru

Abstract. The object of the study were breeding animals of the Kazakh White-Headed breed used for beef production. The aim of the study was to conduct an economic and biological assessment of the Kazakh White-Headed animal population in the Altai Krai. Kazakh White-Headed bulls were evaluated from birth to 15 months. The assessed traits included live weight, relative and average daily gain, meat form assessment, and a complex index. When comparing animals, the genealogical lines, the distribution of individuals by rank productivity, and the correspondence of these groups to the parameters of the identified clusters were assessed. Cluster analysis was conducted using live weight at 8 and 15 months and a complex index A. For each pair of traits, the animals were distributed into six clusters. It was established that the characteristics of animals from most lines correspond to clusters that encompass a sample of individuals with an average level of productivity. An analysis of the distribution of animals depending on productivity revealed that animals in the high-yielding group tend to approach the core values of cluster #5, with average productivity in cluster #3, while low-yielding animals tend to approach clusters #1 and #2. Cluster analysis of productivity traits allows us to identify phenotypically distinct groups of bulls in herds of the Kazakh Whitehead breed. The optimal boundaries of the cluster cores used to select the best animals are within the following limits: live weight at 8 months: 303–345 kg, at 15 months: 551–609 kg, and for the complex index A: 109–116%.

Keywords: breeding, selection, line, breeding group, live weight, cluster, selection parameters, Kazakh White-Headed breed.

Селекционная оценка структуры стада бычков казахской белоголовой породы с использованием классических методов анализа популяций рассматривалась нами ранее [1]. Следует отметить, что в рамках одной публикации довольно сложно охватить все аспекты оценки структуры стад животных. В условиях информатизации и цифровизации появляются новые методы и подходы обработки и классификации научной информации, такие как Data science или Big data, что дает возможность оценки привычных нам данных с точки зрения современных знаний. Одним из таких направлений является кластерный анализ [2]. Настоящая статья посвящена использованию кластерного анализа в оценке и селекции казахской белоголовой породы.

Организация отбора желательных генотипов с параметрами, основанными на оценке быков-производителей по собственной продуктивности и по качеству потомства, позволяет расширить генеалогическую структуру породы с одновременной консолидацией популяции животных [3].

Использование селекционных индексов и регрессионного анализа при оценке быков-производителей с учетом показателей экстерьера позволяет достичь более значительного эффекта отбора по комплексу признаков, чем при прямой селекции по каким-то определенным показателям. Использование данного подхода позволяет создавать более эффективные селекционные группы животных [4, 5].

Алгоритмы расчета параметров отбора и селекционных индексов для оптимизации селекционных программ совершенствования популяций крупного рогатого скота в России необходимо внедрить в виде информационно-аналитической системы на региональных и породных уровнях анализа данных [6].

Для создания новых линий часто используют параметры отбора животных, основанные на оценке экстерьера. Так, при формировании высокорослого типа полновозрастных быков-производителей и коров казахской белоголовой породы косая длина туловища, обхват груди, высота в крестце должны быть не менее 162, 208, 142 см и 150, 188, 136 см соответственно. Высота в крестце бычков в возрасте 15 мес. – не менее 123 см, телок – 116 см [7, 8].

Определенный интерес вызывает вычисление параметров отбора животных. Наиболее простой способ – это использование минимального и максимального значения признаков в выборке или оцениваемой популяции. Однако данный подход в недостаточной степени учитывает внутривариационную изменчивость, а сами крайние значения могут быть случайны. Вследствие чего в период с начала XX в. и по настоящее время базовой основой вычисления параметров отбора считается использование среднего значения по выборке и стандартного отклонения, что позволяет получить более обоснованные критерии отбора при селекции животных [9, 10].

Подбор животных с учетом генеалогической структуры позволяет корректировать стратегию отбора, повысить долю высокопродуктивных технологичных особей в популяции животных и получить дополнительную продукцию. А при закреплении производителей в племенных и товарных хозяйствах учитывать комплексные индексы, вычисленные на основе оцениваемых признаков животных [11, 12].

В процессе анализа племенной оценки быков-производителей разных линий установлен различный уровень изменчивости живой массы. Данный факт может быть использован для разработки внутрилинейных параметров отбора племенных животных казахской белоголовой породы [13].

В казахской белоголовой породе интенсивность роста бычков от 8 до 15 мес. имеет четко выраженную криволинейную зависимость от начальной массы, оптимальные параметры отбора по этому признаку составляют 240–270 кг. Селекция по интенсивности роста чрезвычайно эффективна. Этот признак имеет положительную корреляцию с оплатой корма, конечной живой массой, массой туши и отрицательную – с содержанием жира в средней пробе мяса фарша [14–16].

В ряде случаев оптимальным критерием для отбора является доля лучших животных. В племязаводе «Чапаевский» (Западно-Казахстанская область, Республика Казахстан) у 10 % лучших животных средний комплексный индекс собственной продуктивности находился в пределах 109,4–115,2 %, в племязаводе «Красный Октябрь» (Волгоградская область, Россия) – 108,8–113,3 % [17].

В условиях США показателем оценки и отбора мясного скота является расчет EPD прогнозируемой разницы потомства. Ожидаемые различия в потомстве являются наиболее актуальными и точными средствами отбора крупного рогатого скота по селекционируемым признакам. EPD

обычно рассчитываются два раза в год. Формируется модель животного и рассчитывается его EPD с учетом анализа родителей и ожидаемого потомства. Для анализа данных и прогноза продуктивности используются множественные статистические модели. Использование элементов машинного обучения и нейронных сетей типа Neural Network Wizard позволяет добиться высокого качества прогнозируемых данных при селекции и оценке животных [18, 19].

Отечественными разработчиками создаются и совершенствуются интегрированные системы племенного и производственного учета с применением машинного обучения в анализе продуктивных характеристик животных, что способствует формированию отечественной платформы для ведения автоматизированной широкомасштабной селекции в хозяйствах Российской Федерации [20].

Использование моделей машинного обучения имеет большой потенциал в анализе и прогнозе многих аспектов сельского хозяйства, в том числе животноводства. Однако существует проблема глобализации данных. Крупные корпорации применяют для алгоритмов машинного обучения показатели, полученные у действующих сельхозпроизводителей, что рождает свои противоречия, связанные с защитой данных и их коммерциализацией [21].

Современные средства разработки программных и алгоритмических решений дают широкий инструментарий для анализа данных в сельском хозяйстве начиная от языков программирования Python, R, C++, различных СУБД, и ряда интегрированных решений [22].

Целью настоящего исследования является проведение хозяйственно-биологической оценки популяции животных казахской белоголовой породы в условиях Алтайского края с использованием кластерного анализа.

Цель исследования определила постановку следующих задач: анализ состояния популяций, генетических характеристик животных, развития продуктивных признаков у бычков казахской белоголовой породы; сравнительная оценка результатов кластерного анализа признаков у животных казахской белоголовой породы; разработка параметров отбора высокоценных животных при формировании массива эффективных продолжателей генеалогической структуры казахской белоголовой породы.

Научная новизна заключается в селекционной оценке современной казахской белоголовой породы, разводимой в условиях Алтайского края, с использованием методов кластерного анализа популяции животных.

Практическая значимость работы заключается в использовании в селекционной работе новых параметров отбора казахской белоголовой породы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С использованием общепринятых методов проведена оценка по генотипу и фенотипу бычков казахской белоголовой породы в племенных хозяйствах Алтайского края ООО «Фарм» и «Колос». При оценке определен комплексный индекс А. С учетом изменчивости признаков будут разработаны перспективные параметры отбора бычков. При разработке параметров отбора учтена регрессия между признаками, результаты кластерного анализа. Для проведения кластерного анализа были использованы положения из методического пособия под авторством С.В. Рындиной [2].

При проведении кластерного анализа использованы возможности метода KMeans (k-средних) библиотек NumPy, Matplotlib и scikit-learn языка программирования Python. Данный метод отличается тем, что требуется заранее указать число выделяемых кластеров [2]. В нашем случае с учетом метода локтя, который предварительно показал наличие не менее трех кластеров, было эмпирически выбрано число кластеров, равное шести.

Исходные первичные данные по живой массе в 8 и 15 мес. и комплексному индексу А, использованные для анализа и написания представленной статьи, имеют близкие значения коэффициента вариации и носят сопоставимый характер, не стремятся к “машинному нулю” или “машинной бесконечности”. Данное условие позволило провести кластерный анализ без предварительной стандартизации (нормализации) данных.

Был осуществлен попарный кластерный анализ живой массы в 8 мес. и живой массы в 15 мес., а также живой массы в 8 мес. и комплексного индекса А. Удаление пропущенных значений осуществлено вручную. В качестве метрики используется Евклидово расстояние.

При соотнесении результатов кластерного анализа с оценкой линий, селекционных и производственных групп использованы значения координат ядер кластеров.

Для анализа использованы показатели хозяйственно полезных и экстерьерных признаков бычков казахской белоголовой породы, таких как живая масса (при рождении, 8 и 15 мес.), среднесуточный прирост, комплексный индекс А.

Формулы, применяемые при вычислении комплексного индекса А [23].

$$KI_1 = \frac{\text{Живая масса бычка}}{\text{Средняя живая масса по выборке}} \times 100\% ;$$

$$KI_2 = \frac{\text{Среднесуточный прирост бычка}}{\text{Среднесуточный прирост по выборке}} \times 100\% ;$$

$$KI_3 = \frac{\text{Оценка мясных форм бычка}}{\text{Средняя оценка мясных форм по выборке}} \times 100\% ;$$

$$KI_A = \frac{KI_1 + KI_2 + KI_3}{3} ,$$

где KI_1 – комплексный индекс по живой массе в 15 мес.; KI_2 – комплексный индекс по среднесуточному приросту с 8 до 15 мес.; KI_3 – комплексный индекс по прижизненной оценке мясных форм; KI_A – комплексный индекс А.

За основу определения параметров отбора взято среднее значение признака и его стандартное отклонение [24]. В первую группу – селекционную – входят животные, удовлетворяющие следующей границе отбора: $X \geq \bar{X} + \sigma$; во второй группе (производственной) – $\bar{X} + \sigma > X \geq \bar{X} - \sigma$; в третью группу – низкопродуктивную – относят животных с минимальными значениям оцениваемого признака $X < \bar{X} - \sigma$, где X – значение ранжируемого признака у животных, $\bar{X}$ – среднее значение признака в популяции, σ – стандартное отклонение. Нами рассчитаны параметры отбора в селекционную, производственную и низкопродуктивную группы, которые ранжированы по живой массе в 8 мес., в 15 мес. и комплексному индексу А.

Результаты исследований обработаны методом вариационной статистики по общепринятой методике [25].

Материалы данной статьи частично опубликованы в статье [1], в которой речь шла о селекционной оценке структуры стада бычков казахской белоголовой породы. Настоящая публикация посвящена использованию кластерного анализа в оценке и селекции казахской белоголовой породы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С использованием инструментов языка программирования Python, с привлечением метода KMeans проведен кластерный анализ. Основой алгоритма является использование итерационного подхода вычисления центра масс для каждого кластера, при котором объекты распределяются по кластерам в соответствии с близостью к выбранной метрике [2].

В представленном исследовании для кластерного анализа в качестве базисного признака использованы показатели живой массы бычков в 8 мес., что дает возможность использовать раннюю оценку фенотипов животных для формирования селекционных групп.

При анализе кластеризации по живой массе в 8 и 15 мес. установлено наличие нескольких кластеров (рис. 1).

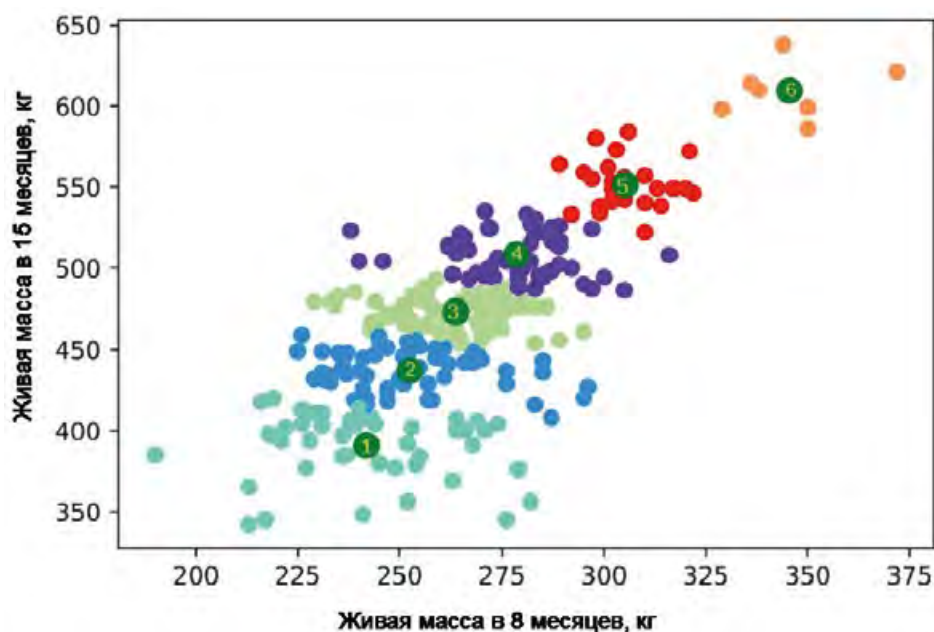


Рис. 1. Кластерный анализ распределения животных по живой массе в 8 и 15 мес.
Cluster analysis of animal distribution by live weight at 8 and 15 months.

Рассчитаны ядра кластеров № 1 – (241,8; 390,8), № 2 – (252,6; 437,1), № 3 – (263,8; 473,1), № 4 – (278,6; 508,1), № 5 – (305,3; 551,4), № 6 – (345,6; 609,4). Для отбора бычков-лидеров наиболее оптимальными являются животные с параметрами живой массы в 8 мес. 305–345 кг, в 15 мес. 551–609 кг. Отобранные бычки-лидеры по живой массе в 8 мес., относящиеся к границам отбора кластера № 6, сохраняют свои ведущие позиции и в более старшем возрасте. Коэффициент повторяемости равен 0,74 ($p < 0,001$). Вследствие этого 74 % бычков имеют высокую вероятность сохранить лидерство по живой массе в 15 мес. при более ранней оценке и отборе.

Кластерный анализ распределения животных по комплексному индексу А и живой массе в 8 мес. позволил выделить 6 групп животных по принципу фенотипической близости к друг другу (рис. 2).

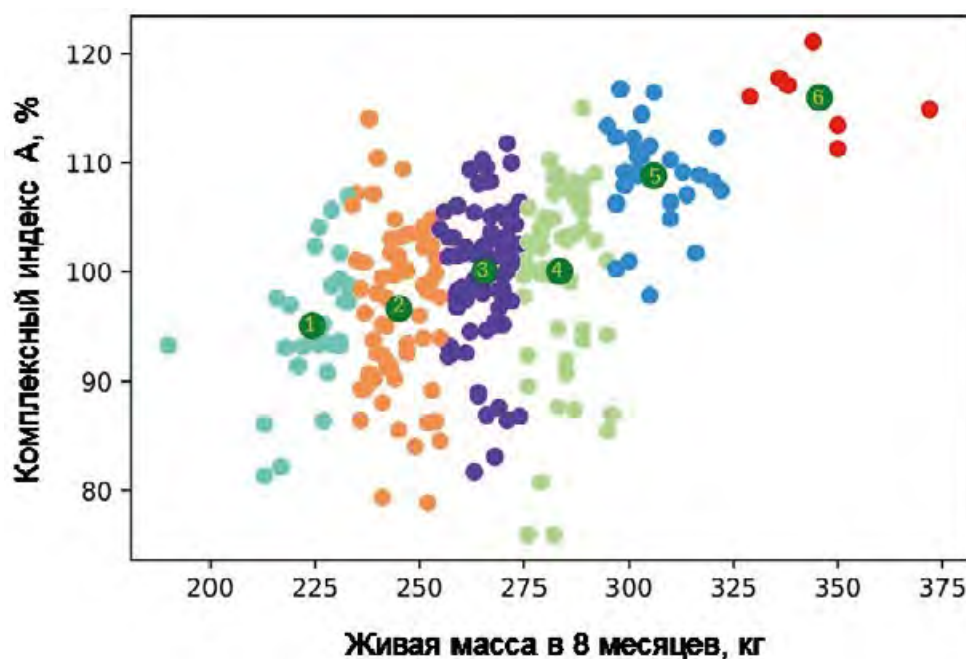


Рис. 2. Кластерный анализ распределения животных по живой массе в 8 мес. и комплексному индексу
Cluster analysis of the distribution of animals by live weight at 8 months and complex index

Установлены следующие ядра кластеров: № 1 – (224,3; 95,1), № 2 – (245,0; 96,7), № 3 – (265,6; 99,99), № 4 – (283,4; 100,0), № 5 – (305,9; 108,8), № 6 – (345,6; 115,9). Наибольший интерес для селекции представляют животные, относящиеся к двум последним кластерам, так как бычки с комплексным индексом А, равным 101 и выше, являются улучшателями по собственной продуктивности и имеют важное значение для селекции. Коэффициент корреляции живой массы в 8 мес. и комплексного индекса А составляет +0,50 ($p < 0,001$). В данном случае половина бычков-лидеров по живой массе в 8 мес. сохраняет ведущие позиции по оценке комплексного индекса А.

При анализе продуктивности животных в зависимости от линейной принадлежности установлено отсутствие достоверных различий по живой массе в 8 мес. у животных оцениваемых групп, по живой массе в 15 мес. и комплексному индексу А лидируют особи, принадлежащие к линии Замка. Использование кластерного анализа, точнее сказать соотнесение фактических показателей со значениями ядер кластеров, позволило установить, что животные линий Задорного 1325, Короля, Пиона 29 и в целом по выборке соответствуют параметрам, типичными для третьего кластера, линии Замка – четвертого, Смычка – первого. Оценка по живой массе в 15 мес. показала, что большинство животных различных линий в основном соотносятся с параметрами третьего кластера, а линии Смычка – второго. Использование границ кластеров для оценки комплексного индекса А показывает, что характеристика животных линий Замка и Пиона 29 соответствует характеристикам для четвертого кластера, линии Смычка – первого, вся выборка типична для третьего кластера.

Таблица 1

Анализ линий по живой массе бычков
Analysis of live weight lines of bulls

Признак	Линия					По выборке, $n = 266$
	Задорного 1325, $n = 86$	Замка, $n = 32$	Короля, $n = 74$	Пион 29, $n = 59$	Смычка, $n = 15$	
Живая масса, при рождении, кг	33,38 $\pm 0,51$	33,44 $\pm 0,71$	33,74 $\pm 0,48$	33,19 $\pm 0,57$	35,93 $\pm 0,88^*$	33,59 $\pm 0,27$
Живая масса в 8 мес., кг.	266,37 $\pm 3,19$	274,38 $\pm 5,04$	268,74 $\pm 3,02$	262,17 $\pm 3,30$	256,87 $\pm 3,73^*$	266,53 $\pm 1,67$
Среднесуточный прирост, г	956,83 $\pm 12,80$	989,48 $\pm 21,21$	965,09 $\pm 12,29$	940,38 $\pm 12,79$	907,32 $\pm 17,19^*$	956,62 $\pm 6,75$
Относительный прирост, %	813,83 $\pm 15,45$	834,58 $\pm 25,45$	808,77 $\pm 14,93$	800,5 $\pm 13,84$	724,43 $\pm 28,01^*$	806,92 $\pm 8,09$
Живая масса в 15 мес., кг	466,97 $\pm 6,01$	489,19 $\pm 9,04^*$	466,86 $\pm 6,89$	473,25 $\pm 5,87$	425,13 $\pm 10,13^{***}$	468,65 $\pm 3,36$
Относительный при- рост от 8 до 15 мес., %	175,62 $\pm 1,43$	178,69 $\pm 2,20$	173,87 $\pm 1,79$	180,9 $\pm 1,51^{**}$	166,04 $\pm 4,54^*$	176,13 $\pm 0,87$
Комплексный индекс А, %	99,75 $\pm 0,87$	102,96 $\pm 1,30^*$	99,31 $\pm 1,06$	101,56 $\pm 0,84$	92,66 $\pm 1,95^{**}$	100,01 $\pm 0,51$

Примечание. Здесь и далее достоверность разницы по Стьюденту между животными оцениваемой группы и оставшейся выборкой обозначена как $*p < 0,05$; $**p < 0,01$; $***p < 0,001$.

Сравнительный анализ параметров отбора в селекционные группы показывает, что требования к животным с высокой продуктивностью соответствуют границам пятого кластера, а низкопродуктивных – первого (табл. 2–5).

Таблица 2

Обоснование параметров отбора в селекционные и производственные группы
Justification of selection parameters for breeding and production groups

Признак	Показатель				
	$\bar{X} \pm S_x$, $n = 266$	σ	Параметры отбора в группу		
			селекционную	производственную	низкопродуктивную
Живая масса в 8 мес., кг	266,53 $\pm 1,67$	27,2	$X \geq 294$	$294 > X \geq 239$	$X < 239$
Живая масса в 15 мес., кг	468,65 $\pm 3,36$	54,8	$X \geq 523$	$523 > X \geq 414$	$X < 414$
Комплексный индекс А, %	100,01 $\pm 0,51$	8,3	$X \geq 108$	$108 > X \geq 92$	$X < 92$

При проведении оценки групп бычков, ранжированных по живой массе в 8 мес. с границами кластеров видно, что показатели животных высокопродуктивной группы стремятся к значениям ядра кластера № 5, производственной № 3, а низкопродуктивной – ядрам № 1 и 2. При этом отмечены достоверные различия животных селекционной группы по большинству признаков. При этом животные с высокой продуктивностью в 8 мес. сохраняют ее и в более старшем возрасте (табл. 3).

Таблица 3

Селекционные группы бычков, дифференцированных по живой массе в 8 мес.
Selection groups of bulls differentiated by live weight at 8 months

Признак	Группа		
	селекционная, $n = 40$	производственная, $n = 184$	низкопродуктивная, $n = 42$
Живая масса при рождении, кг	34,13 $\pm 0,50$	34,30 $\pm 0,31^{**}$	29,95 $\pm 0,68^{***}$
Живая масса в 8 мес., кг	311,77 $\pm 2,85^{***}$	265,30 $\pm 3,59$	228,81 $\pm 1,46^{***}$
Среднесуточный прирост от 0 до 8 мес., г	1140,25 $\pm 11,70^{***}$	948,64 $\pm 14,89$	816,66 $\pm 6,30^{***}$
Относительный прирост от рождения до 8 мес., %	921,80 $\pm 16,29^{***}$	788,04 $\pm 13,63^*$	780,23 $\pm 18,12$
Живая масса в 15 мес., кг	545,08 $\pm 7,41^{***}$	462,76 $\pm 6,80$	421,64 $\pm 5,82^{***}$
Комплексный индекс, %	108,35 $\pm 1,19^{***}$	99,14 $\pm 0,87$	95,90 $\pm 1,09^{**}$

Оценка селекционных групп бычков, ранжированных по живой массе в 15 мес., показывает, что показатели животных селекционной группы стремятся к значениям ядра кластера № 5, производственной – № 3 и 4, низкопродуктивные – № 1. При этом следует отметить высокий уровень продуктивности животных, выделенных в высокопродуктивную группу по всем ключевым селекционным признакам (табл. 4).

Таблица 4

Селекционные группы бычков, дифференцированных по живой массе в 15 мес.
Selection groups of bulls differentiated by live weight at 15 months

Признак	Группа		
	селекционная, n = 41	производственная, n = 180	низкопродуктивная, n = 45
Живая масса при рождении, кг	33,88 ±0,55	33,89 ±0,32	32,13 ±0,75
Живая масса в 8 мес., кг	306,83 ±3,45***	262,99 ±3,56	243,93 ±3,15***
Среднесуточный прирост от 0 до 8 мес., г	1120,95 ±14,06***	940,89 ±14,62	869,82 ±12,43***
Относительный прирост от рождения до 8 мес., %	915,11 ±17,47***	789,75 ±13,09*	777,05 ±20,04
Живая масса в 15 мес., кг	556,83 ±4,49***	468,37 ±6,92	389,42 ±2,97***
Среднесуточный прирост от 8 до 15 мес., г	1190,48 ±12,52***	977,96 ±18,20	692,80 ±20,59***
Комплексный индекс А, %	111,24 ±0,53***	100,56 ±0,88	87,58 ±0,72***

Соотнесение результатов оценки селекционных групп животных, ранжированных по комплексному индексу А с результатами кластерного анализа, показывает, что характеристики животных селекционной группы стремятся к значениям ядер кластеров № 4, 5, ранжированных по живой массе в 8 мес. и комплексному индексу А, производственной группы – № 2, 3, низкопродуктивные ядрам № 1, 2 (табл. 5).

Таблица 5

Селекционные группы бычков, дифференцированных по комплексному индексу А
Breeding groups of bulls differentiated by the complex index A

Признак	Группа		
	селекционная, n = 43	производственная, n = 182	низкопродуктивная, n = 41
Живая масса при рождении, кг	34,28 ±0,48	33,53 ±0,34	33,12 ±0,76
Живая масса в 8 мес., кг	297,56 ±4,50***	262,03 ±3,10*	253,95 ±3,45**
Среднесуточный прирост от 0 до 8 мес., г	1081,23 ±18,71***	938,38 ±12,49*	906,90 ±13,28**
Относительный прирост от рождения до 8 мес., %	876,22 ±18,69**	796,14 ±11,33	782,10 ±19,54
Живая масса в 15 мес., кг	551,88 ±4,93***	466,57 ±6,74	390,59 ±3,62***
Среднесуточный прирост от 8 до 15 мес., г	1211,07 ±10,92***	973,99 ±19,02	650,64 ±17,69***
Комплексный индекс А, %	111,60 ±0,46***	100,36 ±0,89	86,33 ±0,63***

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Животноводческая отрасль Алтайского края с момента создания и апробации казахской белоголовой породы сохраняет одну из ключевых ролей в ее разведении и селекции [26].

Показатели живой массы бычков казахской белоголовой породы Алтайского края удовлетворяют высоким требованиям и соответствуют результатам других регионов Российской Федерации [27, 28].

Подопытные бычки казахской белоголовой породы, как и их сверстники из лучших хозяйств Республики Казахстан, превосходят стандарт породы, соответствующий классу элит-рекорд [29].

При этом метод испытания по собственной продуктивности и по качеству потомства остается актуальным в отечественном скотоводстве [30].

Генеалогическая структура является важным элементом в селекционно-племенной работе. Линейная принадлежность используемых быков соответствует классической генеалогии казахской белоголовой породы. Дальнейшая работа по совершенствованию казахской белоголовой породы дает возможность для выделения новых линий, приспособленных к местным условиям [31, 32].

Следует отметить, что ввиду изменения показателей продуктивности выращивание бычков казахской белоголовой породы алтайской селекции в других географических, технологических и кормовых условиях требует проведения самостоятельного кластерного анализа и вычисления параметров отбора [33].

В дальнейших исследованиях в качестве критерия для проведения кластерного анализа могут быть использованы генетические характеристики животных [34].

ВЫВОДЫ

1. Кластерный анализ продуктивных качеств позволяет выявить фенотипически обособленные группы бычков в стадах казахской белоголовой породы.

2. Использование кластерного анализа дополняет классические методы выделения и оценки групп животных, основанных на изучении генеалогической структуры стада и сравнении фенотипических групп.

3. Предпочтительные границы кластеров для отбора лучших животных находятся в следующих пределах: по живой массе в 8 мес. 303–345 кг, в 15 мес. 551–609 кг, комплексному индексу 109–116%. Предварительный анализ животных по живой массе в 8 мес. позволяет наметить бычков-лидеров, а консолидирующий отбор по указанным критериям позволяет формировать группы перспективных особей для последующей оценки по качеству потомства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуров А.С., Солошенко В.А., Плешаков В.А. Оценка селекционной структуры стада крупного рогатого скота казахской белоголовой породы // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 4(69). – С. 162–172. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-69-4-162-172. – EDN TAUONG.
2. Рындина С.В. Бизнес-аналитика на основе больших данных: обучение без учителя на языках Python и R: учеб.-метод. пособие. – Пенза, 2020. – 76 с.
3. Макаев Ш.А., Фомин В.Н., Сарбаев М.Г. Принципы отбора скота казахской белоголовой породы с желательными параметрами продуктивности // Молочное и мясное скотоводство. – 2013. – № 7. – С. 9–10. – EDN RLNLMLZ.
4. Оценка племенной ценности быков-производителей популяции черно-пестрого скота Московской области по типу телосложения дочерей / А.Ф. Контэ, А.Н. Ермилов, Н.Г. Бычкунова, А.А. Сермягин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 3(55). – С. 275–283. – DOI: 10.32786/2071-9485-2019-03-35. – EDN WESTUN.
5. Романова Е.А., Тулинова О.В. Моделирование селекционного индекса для айрширской породы молочного скота с использованием экстерьерных показателей // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 1(53). – С. 150–155. – DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-150-155. – EDN BLQGZJ.
6. Эффективность использования уравнений модели BLUP для прогноза племенной ценности быков-производителей по молочной продуктивности дочерей / С.Н. Харитонов, А.А. Сермягин, Е.Е. Мельникова [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2018. – № 3. – С. 7–11. – EDN XQMYXZ.
7. Создание заводской линии быка-производителя Зоркого 3433к казахской белоголовой породы / М.П. Дубовскова, Ш.А. Макаев, С.Д. Тюлебаев [и др.] // Вестник мясного скотоводства. – 2017. – № 4(100). – С. 32–39. – EDN YLZXHD.
8. Основные аспекты генеалогической структуры стада и формирование новых заводских линий при создании Димитровского типа мясного скота / А.Н. Сазонов, А.П. Искандерова, Ф.Г. Каюмов [и др.] // Вестник мясного скотоводства. – 2017. – № 4(100). – С. 57–75. – EDN YLZXIE.

9. *Левицкий И.* Стандарты герефордского скота // Государственная племенная книга герефордского скота. – Т. I. – М., 1935. – С. 82–87.
10. *Попов Н.А.* Генетический мониторинг и селекция признаков в молочном скотоводстве. – М., 2023. – 472 с.
11. *Сервах Б.А.* Комплексная оценка быков-производителей на основе полифакторных индексов: автореф. дис. ... канд. с.-х наук. – СПб., 2004. – 115 с. – EDN NMWTBH.
12. *Метод* чистопородного разведения по линиям в совершенствовании казахского белоголового скота / Ш.А. Макаев, Р.Ш. Тайгузин, А.В. Фомин, С.А. Сарыбаев // Животноводство и кормопроизводство. – 2018. – Т. 101, № 2. – С. 25–33. – EDN XZCKMP.
13. *Формирование* племенной оценки линейных быков-производителей / Р.Ш. Тайгузин, А.В. Фомин, Ш.А. Макаев, Н.П. Герасимов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3(65). – С. 124–126. – EDN ZAYUWX.
14. *Насамбаев Е.Г., Губашев Н.М.* Влияние молочности коров казахской белоголовой породы на повышение продуктивности молодняка // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2007. – № 3(15). – С. 135–138. – EDN MGWHGB.
15. *Мирошников С.А., Макаев Ш.А.* Отбор генотипов с желательными параметрами продуктивности казахского белоголового скота // Вестник мясного скотоводства. – 2012. – № 4(78). – С. 13–20. – EDN PKZNQZ.
16. *Организация* и особенности селекции мясного скота / В.Д. Крючков, Ш.А. Жузенов, Ш.А. Макаев, Б.С. Нуржанов // Вестник мясного скотоводства. – 2013. – № 5(83). – С. 37–47. – EDN RUEJYF.
17. *Хайнацкий В.Ю.* Собственная продуктивность как критерий оценки племенной ценности быков в мясном скотоводстве // Животноводство и кормопроизводство. – 2019. – Т. 102, № 1. – С. 112–120. – DOI: 10.33284/2658-3135-102-1-112. – EDN ZHUASL.
18. *Усманова Е.Н.* Производство говядины в специализированном мясном скотоводстве США. – Киров, 2019. – 104 с. – EDN LULGDR.
19. *Буканов А.Л.* Современные методы математического анализа и их применение в решении задач технологии точного животноводства // Вестник АПК Верхневолжья. – 2021. – № 4(56). – С. 57–62. – DOI: 10.35694/YARCX.2021.56.4.010. – EDN NPCCXI.
20. *Седов А.М.* Цифровизация мониторинга индивидуальных данных доения во взаимосвязанной компьютерной системе управления «Стимул-Селекс» – основа технологии «Big Data» в молочном животноводстве // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 3(31). – С. 105–108. – EDN XZNYJV.
21. *Suresh Neethirajan* The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. Sensing and Bio-Sensing Research. – 2020. – Vol. 29. – P. 100367. – DOI: 10.1016/j.sbsr.2020.100367.
22. *Цифровые технологии* анализа данных в сельском хозяйстве: монография / В.В. Демичев, А.В. Тихонова, Ю.Н. Романцева [и др.]. – М., 2022 – 260 с.
23. *Оценка* быков мясных пород по качеству потомства и испытание бычков по интенсивности роста, живой массе, мясным формам: метод. рекоменд. / Л.П. Прахов (составитель), И.В. Лушников, Д.Г. Савина [и др.] // Всесоюз. науч.-произв. об-ние по плем. делу в животноводстве, Голов. селекц.-генет. центр. – Москва, 1990. – 17 с.
24. *Изменчивость* и методы изучения / Отв. ред. П.Ф. Рокицкий. 6-е изд. – М., 2012. – 232 с.
25. *Плохинский Н.А.* Руководство по биометрии для зоотехников. – М.: Колос, 1969. – 255 с.
26. *Грошева О.А., Левыкин С.В.* Казахская белоголовая порода крупного рогатого скота: вклад ее создателя К.А. Акопьяна в развитие зоотехнической науки и адаптивного животноводства // Аграрная наука. – 2023. – № 4. – С. 62–69. – DOI: 10.32634/0869-8155-2023-369-4-62-69. – EDN YICIPV.
27. *Ковалева Г.П., Бобрышова Г.Т.* Казахская белоголовая порода мясного скота на Ставрополье // Сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 4(13). – С. 36–41. – DOI: 10.25930/2687-1254/005.4.13.2020. – EDN BNGZUG.
28. *Назарова Е.Н., Лузбаев К.В., Тарнуев Д.В.* Совершенствование племенных качеств казахской белоголовой породы в условиях хозяйства // Научно-технологическое развитие агропромышленного комплекса: приоритеты и вызовы: мат-лы Всерос. (национальной) науч.-практ. конф., посвященной Дню российской науки, Улан-Удэ, 3–7 февр. 2025 г. – Улан-Удэ, 2025. – С. 468–474. – EDN JGWEPA.
29. *Возрастная* динамика живой массы казахской белоголовой породы мясного скота / А.Т. Бисембаев, Ж.М. Касенов, С.Д. Батанов [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 1. – С. 81–88. – DOI: 10.26897/0021-342X-2023-1-81-88. – EDN FIQEDK.
30. *Оценка* племенных качеств бычков казахской белоголовой породы методом испытания их по собственной продуктивности / Е. Насамбаев, А.Б. Ахметалиева, А.Е. Нугманова, Р.М. Кулбаев // Наука и образование. – 2022. – № 3–2(68). – С. 232–243. – DOI: 10.56339/2305-9397-2022-3-2-232-243. – EDN DYGBDN.
31. *Оценка* быков по качеству потомства методом испытания бычков по собственной продуктивности при контрольном выращивании / Е.С. Цзю, А.А. Уразгалиева, М.Б. Мустафин, А.К. Естанов // 3i: Intellect, Idea, Innovation – интеллект, идея, инновация. – 2023. – № 1. – С. 219–228. – DOI: 10.52269/22266070_2023_1_219. – EDN YPXHVD.

32. Оценка молодняка казахской белоголовой породы, полученного от родоначальников новых линий / Г.П. Ковалева, М.Н. Лапина, Н.В. Сулыга, В.А. Витол // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37, № 8. – С. 65–69. – DOI: 10.53859/02352451_2023_37_8_65. – EDN SACVKU.
33. Гомбоев Э.Б., Гармаев Д.Ц., Куриганов И.А. Продуктивные качества бычков казахской белоголовой породы разных генотипов // Научно-технологическое развитие агропромышленного комплекса: приоритеты и вызовы: мат-лы Всерос. (национальной) науч.-практ. конф., посвященной Дню российской науки, Улан-Удэ, 3–7 февр. 2025 г. – Улан-Удэ, 2025. – С. 439–444. – EDN XXVPP.
34. Герасимов Н.П., Сангаков А.К. Динамика весового роста у молодняка казахской белоголовой породы с различным уровнем экспрессии генов соматотропной оси // Животноводство и кормопроизводство. – 2024. – Т. 107, № 1. – С. 51–61. – DOI: 10.33284/2658-3135-107-1-51. – EDN PZMNBH.

REFERENCES

1. Durov A.S., Soloshenko V.A., Pleshakov V.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, No. 4(69), pp. 162–172, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-69-4-162-172, EDN TAUONG. (In Russ.)
2. Ryndina S.V., *Biznes-analitika na osnove bol'shih dannyh: obuchenie bez uchitelja na jazykah Python i R* (Big Data-Driven Business Analytics: Unsupervised Learning in Python and R), Penza, 2020, 76 p.
3. Makaev Sh.A., Fomin V.N., Sarbaev M.G., *Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo*, 2013, No. 7, pp. 9–10, EDN RLNL-MZ. (In Russ.)
4. Kontje A.F., Ermilov A.N., Bychkunova N.G., Sermjagin A.A., *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2019, No. 3(55), pp. 275–283, DOI 10.32786/2071-9485-2019-03-35, EDN WECTUN. (In Russ.)
5. Romanova E.A., Tulinova O.V., *Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*, 2021, No. 1(53), pp. 150–155, DOI 10.18286/1816-4501-2021-1-150-155, EDN BLQGZJ. (In Russ.)
6. Haritonov S.N., Sermjagin A.A., Mel'nikova E.E., Osadchaja O.Ju., Janchukov I.N., Ermilov A.N., Zinov'eva N.A., *Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo*, 2018, No. 3, pp. 7–11, EDN XQMYXZ. (In Russ.)
7. Dubovskova M.P., Makaev Sh.A., Tjulebaev S.D., Gontjarev V.A., Gerasimov N.P., *Vestnik mjasnogo skotovodstva*, 2017, No. 4(100), pp. 32–39, EDN YLZXHD. (In Russ.)
8. Sazonov A.N., Iskanderova A.P., Kajumov F.G., Makaev Sh.A., Hajnackij V.Ju., *Vestnik mjasnogo skotovodstva*, 2017, No. 4(100), pp. 57–75, EDN YLZXIE. (In Russ.)
9. Levickij I., *Gosudarstvennaja ple-mennaja kniga gerefordskogo skota* (State Stud Book of Hereford Cattle), T. I, Moscow, 1935, pp. 82–87. (In Russ.)
10. Popov N.A., *Geneticheskij monitoring i selekcija priznakov v molochnom skotovodstve* (Genetic monitoring and selection of traits in dairy cattle breeding), Moscow, 2023, 472 p.
11. Servah B.A., *Kompleksnaja ocenka bykov-proizvoditelej na osnove polifaktornyh indeksov* (Comprehensive evaluation of breeding bulls based on multifactor indices), Candidate of Sciences dissertation, Sankt-Peterburg, 2004, 115 p., EDN NMWTBH.
12. Makaev Sh.A., Tajguzin R.Sh., Fomin A.V., Sarybaev S.A., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2018, T. 101, No. 2, pp. 25–33, EDN XZCKMP. (In Russ.)
13. Tajguzin R.Sh., Fomin A.V., Makaev Sh.A., Gerasimov N.P., *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, No. 3(65), pp. 124–126, EDN ZAYUWX. (In Russ.)
14. Nasambaev E.G., Gubashev N.M., *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2007, No. 3(15), pp. 135–138, EDN MGWHGB. (In Russ.)
15. Miroshnikov S.A., Makaev Sh.A., *Vestnik mjasnogo skotovodstva*, 2012, No. 4(78), pp. 13–20, EDN PKZNQZ. (In Russ.)
16. Krjuchkov V.D., Zhuzenov Sh.A., Makaev Sh.A., Nurzhanov B.S., *Vestnik mjasnogo skotovodstva*, 2013, No. 5(83), pp. 37–47, EDN RUEJYF. (In Russ.)
17. Hajnackij V.Ju., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2019, T. 102, No. 1, pp. 112–120, DOI: 10.33284/2658-3135-102-1-112, EDN ZHUASL. (In Russ.)
18. Usmanova E.N., *Proizvodstvo govjadiny v specializirovannom mjasnom skotovodstve SShA* (Beef production in specialized beef cattle farming in the United States), Kirov, 2019, 104 p., ISBN 978-5-6043969-1-9, EDN LULGDR.
19. Bukanov A.L., *Vestnik APK Verhnevolzh'ja*, 2021, No. 4(56), pp. 57–62, DOI: 10.35694/YARCX.2021.56.4.010, EDN NPCCXI. (In Russ.)
20. Sedov A.M., *Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mehanizacii zhivotnovodstva*, 2018, No. 3(31), pp. 105–108, EDN XZNYJV. (In Russ.)
21. Suresh Neethirajan The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. *Sensing and Bio-Sensing Research*, Vol. 29, 2020, 100367, doi:10.1016/j.sbsr.2020.100367.
22. Demichev V.V., Tihonova A.V., Romanceva Ju.N. [et al.], *Cifrovye tehnologii analiza dannyh v sel'skom hozjajstve* (Digital technologies for data analysis in agriculture), Moscow, 2022, 260 p.

23. Prahov L.P. (sostavitel'), Lushnikov I.V., Savina D.G. [i dr.], *Ocenka bykov myasnyh porod po kachestvu potomstva i ispytanie bychkov po intensivnosti rosta, zhivoj masse, myasnym formam* (Evaluation of beef bulls for the quality of their offspring and testing of bulls for growth rate, live weight, and meat forms), Moscow, 1990. (In Russ.)
24. Filipchenko Ju.A., *Izmenchivost' i metody izuchenija* (Variability and methods of study), Moscow, 2012, 232 p.
25. Plohinskij N.A., *Rukovodstvo po biometrii dlja zootehnikov* (Biometrics Guide for Animal Technicians), Moscow: Kolos, 1969, 255 p.
26. Grosheva O.A., Levy`kin S.V., *Agrarnaya nauka*, 2023, No. 4, pp. 62–69, DOI: 10.32634/0869-8155-2023-369-4-62-69, EDN YICIPV. (In Russ.)
27. Kovaleva G.P., Bobry`shova G.T., *Sel`skoxozyajstvenny`j zhurnal*, 2020, No. 4(13), pp. 36–41, DOI: 10.25930/2687-1254/005.4.13.2020, EDN BNGZUG. (In Russ.)
28. Nazarova E.N., Luzbaev K.V., Tarnuev D.V., *Nauchno-texnologicheskoe razvitie agropromy`shlennogo kompleksa: priority` i vy`zovy`* (Scientific and technological development of the agro-industrial complex: priorities and challenges), Proceedings of the scientific conference, Ulan-Ude, 2025, pp. 468–474, EDN JGWEP. (In Russ.)
29. Bisembaev A.T., Kasenov Zh.M., Batanov S.D. [i dr.], *Izvestiya Timiryazevskoj sel`skoxozyajstvennoj akademii*, 2023, No. 1, pp. 81–88, DOI: 10.26897/0021-342X-2023-1-81-88, EDN FIQEDK. (In Russ.)
30. Nasambaev E., Axmetalieva A.B., Nugmanova A.E., Kulbaev R.M., *Nauka i obrazovanie*, 2022, No. 3–2(68), pp. 232–243, DOI: 10.56339/2305-9397-2022-3-2-232-243, EDN DYGDDBN. (In Russ.)
31. Czzyu E.S., Urazgalieva A.A., Mustafin M.B., Estanov A.K., *3i: Intellect, Idea, Innovation - intellekt, ideya, innovaciya*, 2023, No. 1, pp. 219–228, DOI: 10.52269/22266070_2023_1_219, EDN YPXHVD. (In Russ.)
32. Kovaleva G.P., Lapina M.N., Suly`ga N.V., Vitol V.A., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2023, T. 37, No. 8, pp. 65–69, DOI: 10.53859/02352451_2023_37_8_65, EDN SACVKU. (In Russ.)
33. Gomboev E`.B., Garmaev D.Cz., Kuriganov I.A., *Nauchno-texnologicheskoe razvitie agropromy`shlennogo kompleksa: priority` i vy`zovy`* (Scientific and technological development of the agro-industrial complex: priorities and challenges), Proceedings of the Conference Title, Ulan-Ude, 2025, pp. 439–444, EDN XXPVPP. (In Russ.)
34. Gerasimov N.P., Sangakov A.K., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2024, T. 107, No. 1, pp. 51–61, DOI: 10.33284/2658-3135-107-1-51, EDN PZMNBH. (In Russ.)

Информация об авторе:

A.C. Дуров, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Contribution of the author:

A.S. Durov, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher

ОПЫТ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕЦИФИЧЕСКОГО ИММУНИТЕТА У ЖИВОТНЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИММУНОСТИМУЛЯТОРОВ

¹Г.В. Кошель, ^{1,2}Н.Н. Шкиль

¹Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, Новосибирск, Россия

²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Новосибирская область, Россия

E-mail: nicola07@mail.ru

Для цитирования: Кошель Г.В., Шкиль Н.Н. Опыт формирования специфического иммунитета у животных с применением иммуностимуляторов // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 117–128. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-117-128.

Реферат. Наиболее распространенными патологиями являются иммунодефициты молодняка животных и птиц, что значительно снижает эффект специфической иммунизации и негативно отражается на сохранности поголовья. В связи с этим широкое развитие получил синтез препаратов-иммуностимуляторов, направленных на снижение иммуносупрессивных состояний у животных и птицы. Обзор исследований по оценке влияния различных препаратов-иммуностимуляторов (натрия-тиосульфата, АСД-2, фоспренила, вестина, полирибоната, риботана, интерферона, плацентина, иммуната, тимогена, сальмопула, апистимулина, триметазона, Биферон-б, лидиума-KLP левамизол и др.) на уровень специфической защиты, выражаемой в титрах антител при иммунизации животных при бактериальных (сальмонеллез, колибактериоз, лептоспироз, листериоз, туберкулез, стрептококкоз, пастереллез и др.) и вирусных (инфекционный ринотрахеит крупного рогатого скота, вирусная диарея – болезнь слизистых, парагрипп-3, рота-, коронавирусы, инфекционная бурсальная болезнь птиц, вирусный гепатит утят, болезни Марека, Ауески, Гамборо, Ньюкасла, чума плотоядных, инфекционный ларинготрахеит, бронхит птицы и др.), грибковых (трихофития, микроспория) и других возбудителей инфекционных болезней показал высокий эффект их применения. Представленный обзор литературы показывает отсутствие комплексной оценки эффективности препаратов-иммуностимуляторов при вакцинации животных и не позволяет выявить и определить наиболее эффективное средство. Приведенные данные об использовании препаратов-иммуностимуляторов при иммунизации животных показали высокий профилактический эффект, однако существует крайне мало работ о сравнительной эффективности этого класса ветеринарных средств, который насчитывает более одиннадцати групп. Комплексная работа по оценке влияния разных препаратов при вакцинации одной вакцины позволила бы объективно оценить их эффективность, что дало бы возможность оптимизировать ветеринарные профилактические мероприятия.

Ключевые слова: иммуностимулятор, АСД-2, вестин, болезнь НьюКасла, риботан, коронавирус, ротавирус, натрия тиосульфат.

EXPERIENCE IN FORMING SPECIFIC IMMUNITY IN ANIMALS USING IMMUNOSTIMULATORS

¹G.V. Kosehl, ^{1,2}N.N. Shkil

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnology of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Region, Russia

E-mail: nicola07@mail.ru

Abstract. The most common pathologies are immunodeficiencies in young animals and birds, which significantly reduces the effect of specific immunization and negatively affects the survival rate of livestock. In this regard, the synthesis of immunostimulants aimed at reducing immunosuppressive conditions in animals and poultry has been widely developed. A review of studies evaluating the effect of various immunostimulant drugs (sodium thiosulfate, ASD-2, fosprenyl, vestin, polycarbonate, ribotan, interferon, placentin, immunate, thymogen, salmopula, apistimulin, trimetasone, Biferon-b, lydiium-KLP levamisole, etc.) on the level of specific protection expressed in antibody titers during animal immunization bacterial (salmonellosis, colibacteriosis, leptospirosis, listeriosis, tuberculosis, streptococcosis, pasteurellosis, etc.) and viral (infectious rhinotracheitis of cattle, viral diarrhea-mucosal disease, parainfluenza-3, rot-, coronaviruses, infectious bursal disease of birds, viral hepatitis of ducklings, Marek's disease, Aujeszka, Gumboro, Newcastle, plague of carnivores, infectious laryngotracheitis, bronchitis of birds, etc.), fungal (trichophytia, microsporia) and other pathogens of infectious diseases showed

a high effect of their use. The presented literature review shows the lack of a comprehensive assessment of the effectiveness of immunostimulant drugs in animal vaccination and does not allow to identify and determine the most effective remedy. The data on the use of immunostimulants in animal immunization showed a high preventive effect, but there are very few studies on the comparative effectiveness of this class of veterinary drugs, which includes more than 11 groups. A comprehensive study of the effects of different drugs on the effectiveness of a single vaccine would allow for an objective assessment of their effectiveness, which would optimize veterinary preventive measures.

Keywords: immunostimulant, ASD-2, Vestin, Newcastle disease, Ribotan, coronavirus, rotavirus, sodium thiosulfate.

Развитие промышленного животноводства, с одной стороны, увеличило рентабельность производства, а с другой – обусловило развитие системных патологий, присущих данной технологии ведения в сельском хозяйстве. Наиболее распространенными являются иммунодефициты молодняка животных и птиц, что значительно снижает эффект специфической иммунизации и негативно отражается на сохранности поголовья. В связи с этим широкое развитие получил синтез препаратов-иммуностимуляторов, направленных на снижение иммуносупрессивных состояний у животных и птицы. Одним из перспективных направлений развития ветеринарной фармакологии стало создание новых комплексных лекарственных средств, действующих на различные звенья патогенеза и устраняющих основные симптомы заболевания. Развитие биотехнологии позволило фармацевтической промышленности создать качественные и эффективные биопрепараты, содержащие интерфероны и проявляющие антивирусную и иммуномодулирующую активность. В настоящее время полученные одно- и двухкомпонентные лекарственные средства применяют с профилактической и лечебной целью при желудочно-кишечных и респираторных заболеваниях вирусной и бактериально-вирусной этиологии у молодняка и взрослых сельскохозяйственных животных, при иммунодефицитных состояниях, вызванных стрессом, неблагоприятными условиями содержания, кормления, транспортировки, при вакцинациях и т.д. За счет комбинирования интерферонов с антибактериальными субстанциями, витаминами, пробиотиками и т.д. в одной лекарственной форме были получены препараты, обладающие полифармакологическими эффектами. В последние годы были внедрены в производственную практику новые эффективные и безопасные препараты, полученные методом криофракционирования из органов и тканей сельскохозяйственных животных (липотон, аминотон и др.). На основе одного из тканевых стимуляторов – аминокислоты (продукта криогенной сублимации селезенки) и интерферона свиного рекомбинантного в институте создан препарат аминокислот-селеферон, который успешно прошел доклинические и клинические испытания. Мы считаем, что развитие этого направления исследований наиболее перспективно, так как позволяет решать задачи, связанные с получением безопасных, качественных и высокоэффективных лекарственных средств для ветеринарной медицины [1, 2].

Из иммуномодуляторов большим количеством позитивных фармакологических свойств (иммуностимулирующее, адаптогенное, ростостимулирующее, ранозаживляющее) обладают иммуностимуляторы, которые применяют для повышения эффективности химиотерапии, вакцинации и в качестве антистрессовых средств [3].

Установлен рост протективных свойств вакцины БЦЖ против туберкулеза животных при применении иммуностимуляторов [4]. Установлена высокая антигенная активность вакцины против листериоза сельскохозяйственных животных (штамма «АУФ» живой сухой «Листекс») с использованием в качестве иммуностимулятора биопрепарата «Биферон-б» [5].

В условиях промышленного птицеводческого комплекса экспериментально показана сравнительная эффективность применения пробиотиков (Коредон, Байколин-1 и Алифт-П) по гематологическим, биохимическим и иммунным показателям в сыворотке крови цыплят, а также по селезеночным и бурсальным индексам. Изучено влияние иммуномодуляторов на основе РНК (полирибоната и вестина) на иммунологические показатели птицы при вакцинации против болезни Ньюкасла и инфекционной бурсальной болезни. Результаты экспериментальных производственных опытов открывают перспективы широкого практического использования сочетанного применения пробиотиков и иммуномодуляторов на основе РНК для выращивания молодняка птицы. В условиях промышленного птицеводства показана возможность замены антибиотиков, используемых в схемах

ветеринарно-санитарных мероприятий, на сочетанное применение пробиотиков и иммуномодуляторов – полирибонат и вестин [6].

Иммуностимулятор на основе бактериальных липополисахаридов *Bac. alvei* «Альвеозан» позволяет повысить эффективность вакцинации и может быть рекомендован в качестве разбавителя для живых вакцин против моно- и ассоциированных вирусных респираторных инфекций животных [7].

Описаны и широко применяются иммуностимуляторы при вакцинации у крупного рогатого скота против сальмонеллеза [8]. Установлено, что использование иммуностимуляторов тимогена, 4,0%-го раствора АСД-2, бластена и адаптина с вакцинами против сальмонеллеза позволяет значительно повысить иммуногенез у поросят. Для вакцинации использовали три вакцины: вакцину против паратифа поросят, сухую живую вакцину против сальмонеллеза свиней из штамма ТС-177, сухую живую вакцину против сальмонеллеза свиней из супрессорного ревертанта *Salmonella cholerae suis* N 9. Иммуномодуляторы вводили парентерально на протяжении 2 сут до вакцинации и 3 сут после нее. В крови до вакцинации и через 14 дн. после нее определяли титр антител, общий белок, IgG, IgM, циркулирующие иммунные комплексы и серомукоиды. Наиболее выраженный гуморальный иммунный ответ у поросят отмечен при иммунизации вакциной против паратифа поросят с титром антител 1 : 208 (при других вакцинах 1 : 128 и 1 : 88). Иммуностимулятор бластен во всех группах дал наибольшее значение показателей (титр антител 1 : 704, IgG – 17,24 мг/мл, IgM – 1,10 мг/мл) с вакциной против паратифа, тимоген 1 : 512; 16,52 мг/мл; 1,01 мг/мл, а 4,0%-й раствор АСД-2 – 1 : 352; 16,6 мг/мл; 0,97 мг/мл соответственно. Аналогичные результаты получены и в сочетании иммуностимуляторов с другими вакцинами [9].

Усиление антителообразования при введении иммуностимуляторов при иммунизации инактивированной комбинированной вакциной «Комбовак» против рота-, коронавирусных энтеритов и вирусной диареи – болезни слизистых было изучено на 45 стельных коровах. Животным опытных групп за 48 ч до вакцинации вводили иммуностимуляторы Интерферон бычий рекомбинантный и Иммунал. Исследование проб сыворотки крови подопытных животных, которым вводили Интерферон бычий рекомбинантный, показало, что в большинстве из них содержались специфические антитела перед отелом к ротавирусу в титре – 8,9 log₂, к коронавирусу – 7,9 log₂, к ВД-БС – 5,6 log₂, что превысило контрольные значения в 1,15; 1,19 и 1,16 раза соответственно. Применение стельным коровам препарата Иммунал до вакцинации внутримышечно в дозе 5 мл/г приводило к увеличению количества специфических антител в крови животных, и в среднем перед отелом оно составляло: к ротавирусу – 9,4 log₂; к коронавирусу – 8,7 log₂, к ВД-БС – 5,5 log₂, превышая данный показатель у животных контрольной группы в 1,21; 1,31 и 1,14 раза. Введение бычьего рекомбинантного интерферона вызывало рост антител к рота-, коронавирусам и ВД-БС в день отела – 12,75; 8,0 и 6,8 log₂ соответственно, что было больше контрольных значений в 1,18; 1,21 и 1,23 раза соответственно. У коров, получивших препарат Иммунал, титры антител в молозиве к рота-, коронавирусам и ВД-БС в день отела превысили контрольные значения в 1,22; 1,23 и 1,25 раза соответственно [10].

Вакцинация телят на фоне применения такого иммуностимулирующего препарата, как Интерферон бычий рекомбинантный в дозе 1 мл на 10 кг массы тела однократно и двукратно за 48 ч до вакцинации вызывает в организме активизацию гуморального звена иммунитета. Выработка иммуноглобулинов начинается с первых дней после иммунизации и достигает максимальных значений на 25-й день опыта у телят. Использование иммуностимуляторов способствует ускорению биосинтеза иммуноглобулинов А, М, G [11].

Установлено, что введение таких иммуностимуляторов, как Интерферон бычий рекомбинантный и Иммунал перед иммунизацией стельных коров вакциной «Комбовак» приводит к увеличению количества специфических антител к рота-, коронавирусу и вирусу диареи [12–17]. Препарат Тимофер обладает иммуностимулирующими свойствами и активизирует выработку антител в организме телят, иммунизированных вакциной против тейлерииоза [18].

Разработана пероральная живая интраназальная вакцина с иммуностимулятором для предотвращения диареи у телят и вакцины против респираторных и желудочно-кишечных болезней крупного рогатого скота [19].

Вакцинация цыплят, проведенная совместно с иммуностимулятором натрия тиосульфатом, повышает сохранность поголовья, выход мяса птицы, а также предупреждает появление болезни Марека, что обусловлено усилением иммунной защиты организма. У птицы, вакцинированной совместно

с иммуностимулятором, повышается в крови количество Т-лимфоцитов, содержание гликогена в псевдоэозинофилах и РНК в лимфоцитах, содержание же В-лимфоцитов в крови не изменяется. Применение иммуностимулирующих препаратов при вакцинации цыплят против болезней Ньюкасла и Марека обеспечивает снижение иммунодепрессивных и усиление иммуногенных свойств вакцинных вирусов, более раннее развитие иммуноморфологических реакций в органах иммунной системы, усиление секреции иммуноглобулинов (антител), тем самым формирование более напряженного иммунитета по сравнению с применением вакцин без иммуностимуляторов [20].

Применение иммуностимуляторов натрия тиосульфата (7,0%-й раствор) и плацетина в качестве растворителя вакцины против вирусного гепатита утят способствует повышению титра специфических антител в 2–3 раза по сравнению с группой утят, иммунизированной одной вакциной, и созданию более напряженного гуморального иммунитета. Иммунизация утят совместно с иммуностимуляторами повышает среднесуточный прирост живой массы птицы на 10 г по сравнению с контрольной группой и способствует увеличению массы органов иммунной системы [21].

Вакцинация цыплят-бройлеров спрей-методом от болезни Ньюкасла не исключает наличия интактного поголовья, не имеющего специфических антител и показывающих нулевые титры при серологическом контроле сыворотки крови. Применение препарата Фоспренила в дозах 0,2 и 0,5 мл на 1 кг массы тела за 3 и до 5 сут после вакцинации спрей-методом, выпаиваемого с питьевой водой значительно повышало групповой иммунитет [22]. Установлен иммуностимулирующий эффект препаратов-иммуностимуляторов при вакцинации цыплят при болезни Ньюкасла [23].

Пероральная иммунизация кур сухой живой вирус-вакциной из штамма «АМ» против инфекционного бронхита, совместно с иммуностимулятором калием оротатом, вызывает у птицы иммуноморфологическую перестройку, которая сопровождается активизацией костномозгового миелопоэза, что способствует формированию более напряженного иммунитета к инфекционному бронхиту кур по сравнению с вакцинацией без иммуностимулятора [24].

При изучении иммуногенеза у цыплят при одновременной вакцинации их против болезни Марека, инфекционного бронхита и болезни Ньюкасла с применением иммуностимуляторов нуклевита и гала-вета при одновременной вакцинации суточных цыплят-бройлеров способствует активизации иммуногенеза, снижению иммунодепрессивных эффектов антигенов вакцинных штаммов на организм птицы и стимуляции их роста и развития [25].

Установлено влияние иммуностимулятора на основе АСД-2 на рост и развитие птицы, подтвержденное морфологическими, биохимическими и иммунологическими показателями крови птиц. Препарат способствовал росту напряженности иммунитета против болезней Ньюкасла, Гамборо, инфекционного ларинготрахеита и бронхита птиц, а также повышению гематологических, биохимических, иммунологических показателей и неспецифической резистентности организма [26, 27].

Установлено влияние применения иммуностимуляторов лидиума-KLP и левамизола на эффективность вакцинации гусынь-несушек против болезни Держи и пассивную иммунизацию гусят [28]. Применение иммуностимуляторов позволило повысить иммуногенность противогриппозной вакцины у водоплавающих птиц [29].

При исследовании цыплят интактных и вакцинированных против болезни Марека, без применения и с применением 7,0%-го водного раствора натрия тиосульфата 1–12-дневного возраста, изучен иммуноморфогенез у цыплят, парентерально вакцинированных вакциной из штамма ФС-126 вируса герпеса индеек и апатогенного штамма ВНИВИП против болезни Марека, растворенной в 7,0%-м растворе натрия тиосульфата. Проведены иммуноморфологические исследования органов иммунной системы 112 иммунных цыплят с помощью светового микроскопа и специальных методик окраски клеток и тканей [30]. Применение иммуностимуляторов Гала-вета и Нуклевита в период иммунизации цыплят против болезни Марека, инфекционного бронхита и болезни Ньюкасла способствует активизации иммуногенеза и стимулирует рост и развитие птицы [31]. Ш.К. Куляшбекова (2009) выявил высокий эффект иммуностимуляторов в составе вакцины против болезни Марека.

Применение апиистимулина и триметазона с вакцинами против болезни Гамборо и Ньюкасла у кур повышает иммуногенность вакцин, усиливая иммуноморфологические, и снижая иммунопатологические реакции. Установленные иммуноморфологические изменения в организме цыплят свидетельствуют о формировании более напряженного и длительного иммунитета по сравнению с вакцинацией без иммуностимуляторов [33].

Колибактериоз, основное бактериальное заболевание, поражающее кур и индеек, вызывается патогенной для птиц кишечной палочкой и имеет значительные экономические последствия для птицефабрик, приводя к увеличению смертности, снижению массы тела и повышению коэффициента конверсии корма. При исследовании в качестве адъюванта для инактивированной кишечной палочки использовали минеральное масло, которое вводили цыплятам-несушкам путем инъекций. В возрасте 28 дней 60 птиц были впоследствии разделены на шесть экспериментальных групп ($n = 10$). Контрольная группа не получала вакцину против *E. coli*, тогда как пять групп, получавших лечение, были вакцинированы подкожно инактивированной формалином вакциной против *E. coli* с добавлением минерального масла, содержащей изолят *E. coli* серотипа O₇₈. Через десять недель после прививки с помощью метода ИФА оценивали уровни титров антител IgG к кишечной палочке. Результаты показали значительное увеличение титров антител IgG у иммунизированных птиц по сравнению с неиммунизированной контрольной группой ($P < 0,05$). Уровень антител против IgG увеличивался еженедельно после инъекции в большинстве вакцинированных групп в течение четырех недель. Вакцина против кишечной палочки вызвала высокий уровень иммунного ответа в вакцинированной группе, что было выявлено с помощью ИФА. Для получения существенного иммунологического эффекта рекомендуется, чтобы все цыплята в экспериментальной группе получили бустерную дозу через четыре недели после первоначальной иммунизации [34].

В настоящее время активно изучаются комбинации агонистов Toll-подобных рецепторов (TLR) для снижения системной токсичности и достижения желаемых долгосрочных иммунных реакций. При исследовании применения комбинации тройных агонистов TLR (LPS, TLR4; R-848, TLR7 и CpG-ODN, TLR21) в качестве адъюванта к инактивированной вакцине против вируса болезни Ньюкасла у цыплят была оценена кинетика иммунного ответа (по уровню стимуляции мононуклеаров периферической крови комбинацией тройных агонистов) на основе анализа экспрессии генов, связанных с функционированием иммунитета, оцененная методом количественной ПЦР при проведении транскриптомного анализа образцов селезенки птиц, которым вводили тройные агонисты TLR. В ходе исследования птиц вакцинировали инактивированной вакциной против болезни Ньюкасла отдельно или в комбинации с различными смесями агонистов TLR (однократной, двойной или тройной), после чего оценивали как гуморальный, так и клеточный иммунный ответ, а также защиту от заражения. Результаты исследования иммунного ответа показали значительное усиление регуляции транскриптов IL-1 β , IFN- γ , IL-4, IFN- β , iNOS и MHC-II, что указывает на провоспалительный, противовирусный и смешанный Th1/Th2-ответ при комбинации тройных агонистов TLR. Транскриптомный анализ выявил значительное усиление регуляции 19 дифференциально экспрессируемых генов (DEG), связанных с иммунной функцией в сигнальном пути тройных агонистов TLR, таких как противовоспалительный и противовирусный ответ. Кроме того, исследование иммунизации показало, что комбинация тройного агониста TLR в низкой дозе не проявляла токсичности и значительно усиливала как гуморальный, так и клеточно-опосредованный иммунный ответ, что приводило к повышению титров антител, усилению активации Т-клеток и полной защите от заражения вирулентным вирусом болезни Ньюкасла. Эти данные свидетельствуют о том, что комбинация тройных агонистов TLR может повысить эффективность вакцины и обеспечить экономичный подход к разработке рецептур вакцин [35].

Для усиления иммуногенности вакцин разрабатываются различные адъюванты и иммуностимуляторы. При исследовании адъювантных свойств консервативных доменов флагеллинов с Toll-подобными рецепторами 5 (TLR5) у трех различных бактерий: *Salmonella typhimurium*, *Bacillus subtilis* и *Bacillus cereus*, которые были рекомбинантно экспрессированы, установлено, что все три белка продемонстрировали сильную активацию TLR5 *in vitro*. Рекомбинантные белки были получены с использованием инактивированного вируса эпидемической диареи свиней (PEDV) в качестве вакцин для вакцинации мышей для оценки иммунитета. Результаты показали, что все три рекомбинантных белка усиливали провоспалительный ответ (IL-6 и TNF- α), клеточный иммунитет и реакцию антител, специфичных к PEDV, по сравнению с группой, получавшей только PEDV. В тесте на нейтрализацию вируса все три рекомбинантных белка значительно повысили титр вирус-нейтрализующих PEDV-антител [36].

Рыбий жир содержит биологически активные молекулы, такие как омега-3, омега-6 и омега-9 жирные кислоты, которые регулируют иммунные реакции. Масло рамдии квелен (RQO) содержит

62,86 % ненасыщенных жирных кислот. Для оценки сравнения использовали адъювант AddaVax™, который включал наноэмульсию двух компонентов (Сорбитана триолеата – 0,5 в скваленовом масле – 5,0 %) и Твин 80 (0,5 %) в цитратно-натриевом буфере (10 ммоль, pH 6,5). Для оценки адъювантных свойств в вакцине против казеозного лимфаденита (*Corynebacterium pseudotuberculosis*) в виде rCP01850 мышей линии Balb/c разделили на четыре группы, которым вводили физиологический раствор (группа № 1), rCP01850 + AddaVax (группа № 2), rCP01850 + RQO (группа № 3) и только с RQO (группа № 4). Установлено, что только в группе № 3 отмечены высокие протективные свойства ($p = 0,0047$), в то время как в группах № 1 и 4 влияния изучаемых комбинаций на иммунитет не обнаружено. Анализ сыворотки крови мышей в группе № 3 установил, что титр антител (общее количество IgG, IgG2b, IgG3), уступая только мышам группы № 2. На 42-й день уровни IgG1 и IgG2a были статистически эквивалентны в группах № 2 и 3. Важно отметить, что группа № 3 была единственной группой с повышенным уровнем IFN- γ и IL-17 ($p = 0,0001$), что указывает на сильную активизацию клеточного звена иммунной системы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что RQO является безопасным и многообещающим природным адъювантом, способным усиливать как гуморальные, так и клеточные реакции, повышая эффективность вакцины против *Corynebacterium pseudotuberculosis* [37].

Благодаря преимуществам высокого профиля безопасности, превосходной стабильности и значительным иммуностимулирующим свойствам наноэмульсии стали широко используемыми адъювантами в вакцинах для животных. При изучении наноэмульсии полисахарида астрагала (APSN) с использованием метода псевдотройичной фазовой диаграммы в сочетании с методом инверсии фаз установлен диаметр наночастиц в гидратированном виде – 78,82 нм, обладающих хорошей стабильностью и биосовместимостью. Вакцина против ящура (VLP) была разработана с использованием APSN в качестве адъюванта и использовалась для иммунизации мышей и свиней. Результаты иммунизации мышей показали, что APSN значительно повышал уровни специфических антител, IgG1, IgG2a, IFN- γ и IL-4, индуцированных VLP вируса ящура. По сравнению с ISA-206 иммунизация свиней показала, что APSN в сочетании с VLP индуцировали более высокие уровни специфических нейтрализующих антител, а также IL-1 β , IL-4 и IFN- γ . Полученные результаты указывают на то, что APSN – это новый тип наноэмульсионного адъюванта, обладающий значительным потенциалом для повышения иммуногенности вакцин [38].

Экономическая эффективность иммунизации поросят вакциной против сальмонеллеза, пастереллеза и стрептококкоза совместно с 20,0 % натрия тиосульфатом и витамином С в качестве иммуностимуляторов в производственных условиях составляет 7,0 руб. на 1,0 руб. затрат [39]. Установлены изменения при морфологическом исследовании крови, ткани с места введения вакцины и органов иммунной системы (тимус, селезенка) крыс, вакцинированных против лептоспироза свиней вакцинами отечественного производства, содержащими в своем составе различные адъюванты, с применением иммуностимулирующих препаратов. Отмечен повышенный уровень специфических антител у крыс и кроликов при иммунизации с применением иммуностимуляторов [40, 41]. Отмечен высокий профилактирующий эффект иммуностимулятора при вакцинации свиней против болезни Тешена [42].

Изучено влияние иммуностимуляторов (Риботана и Апистимулина-А) на иммунную реактивность серебристо-черных лисиц, вакцинированных против чумы плотоядных в качестве растворителя сухой живой вакцины. Выявлено, что они способствуют повышению естественной резистентности организма вакцинированных животных и активизации иммунных реакций. Это позволяет значительно увеличить напряженность и продолжительность поствакцинального иммунитета к чуме плотоядных. Наиболее эффективный иммуностимулятор – препарат Апистимулин-А [43]. Описан эффективный опыт применения иммуностимуляторов при вакцинации с вакциной «Вакдерм» против микроспории и трихофитии собак, кошек, кроликов и пушных зверей [44].

Для получения более напряженного иммунитета у норок, вакцинированных против чумы, рекомендовано в качестве разбавителя вакцины применять смесь риботана с 10%-м раствором натрия тиосульфата или апистимулина. При изучении в опыте было использовано восемь групп норок ($n = 4$) в возрасте 7 мес.: 1-я группа – интактные щенки, которым вводили стерильный физраствор; щенки 2-й группы – иммунизированы сухой живой вакциной против чумы плотоядных согласно инструкции; 3-й группе вводили вакцину, разбавленную 10%-м раствором натрия тиосульфата

на 0,5%-м растворе новокаина; 4-й группе вводили вакцину с иммуностимулятором риботан; 5-й группе – вакцину с разбавителем 2,5%-м раствором аскорбиновой кислоты; 6-й группе – вакцину с раствором натрия тиосульфата и риботана в равных объемах; 7-й группе – вакцину с апиистимулином; 8-й – вакцину с 0,1 М раствором аскоцина. Кровь для исследования в РНГА брали на 15-й день после иммунизации. Титр антител к вирусу чумы плотоядных у всех щенков 6-й группы был – 1 : 512, в 7-й группе у трех – 1 : 512 и одного – 1 : 256, в контроле антитела не выявлены, а в группах, где в качестве разбавителя использована аскорбиновая кислота и аскоцин, – 1 : 32 и 1 : 16 [45].

Установлен высокий протективный эффект при применении антигена *Toxocara canis* в комплексе с иммуностимулятором при токсокарозе на лабораторной модели животных [46].

При изучении иммуногенеза у кроликов, привитых депонированной вакциной против рожи свиней в сочетании с различными иммуностимуляторами (риботан, сальмопул, смесь риботана и сальмопула, БСТ-1 и 30,0%-й раствор натрия тиосульфата), установлено, что применяемые в опыте иммуностимуляторы оказывают положительное влияние на иммуногенез при вакцинации кроликов, при этом наиболее выраженным иммуностимулирующим действием обладает препарат риботан [47].

Исследования Е.И. Большаковой и других ученых показали высокое иммуностимулирующее действие:

- 30,0%-го раствора натрия тиосульфата при иммунизации свиней против сальмонеллеза, пастереллеза и стрептококкоза при введении вакцин ППД, штамма «ТС-177», супрессорного ревертанта *S. cholerae suis* шт. № 9 против болезни Ауески вакциной ВГНКИ;

- 20,0%-го раствора натрия тиосульфата при иммунизации телят против сальмонеллеза формолквасцовой вакциной;

- 7,0%-го раствора натрия тиосульфата и тималина (в дозе 1 мг/кг живой массы тела птиц) при иммунизации ремонтного молодняка кур против болезни Гамборо жидкой сорбированной инактивированной вакциной;

- апиистимулина (в концентрации 25 мг/мл), а также смеси риботана и 10,0%-го раствора натрия тиосульфата в объеме 1 мл на одну дозу вакцины при иммунизации норок против чумы плотоядных сухой живой вакциной [50].

Приведенные данные об использовании препаратов-иммуностимуляторов при иммунизации животных показали высокий профилактический эффект, однако существует крайне мало работ о сравнительной эффективности ветеринарных средств этого класса, который насчитывает более одиннадцати групп. Комплексная работа по оценке влияния разных препаратов при вакцинации одной вакцины позволила бы объективно оценить их эффективность, что дало бы возможность оптимизировать ветеринарные профилактические мероприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коромыслов Г.Ф., Полоз Д.Д., Крюков Н.Н. Применение иммуностимуляторов в ветеринарии // Труды Всероссийского НИИ экспериментальной ветеринарии им. Я.Р. Коваленко. – 1985. – Т. 62. – С. 3–7.
2. Ческидова Л.В., Брюхова И.В., Григорьева Н.А. Перспективные направления создания лекарственных средств нового поколения для животных с применением биотехнологий (обзор) // Ветеринарный фармакологический вестник. – 2019. – № 2(7). – С. 29–38. – DOI: 10.17238/issn2541-8203.2019.2.29.
3. Войтенко В.Д., Андреева Н.Л. Адаптогенные и ростостимулирующие свойства некоторых иммуностимуляторов // Международный вестник ветеринарии. – 2014. – № 3. – С. 44–48.
4. Коцеев Н.Н., Боганец Н.С., Панкратова А.Д. Повышение протективных свойств вакцины БЦЖ с помощью иммуностимуляторов // Проблемы стабилизации и развития сельскохозяйственного производства Сибири, Монголии и Казахстана в XXI веке: Междунар. науч.-практ. конф., Новосибирск, 20–23 июля 1999 г. / Под ред. П.Л. Гончарова. Т. 2. – Новосибирск, 1999. – С. 216–217.
5. Заерко В.И., Абакин С.С., Потапович М.И. Антигенная активность вакцины против листериоза сельскохозяйственных животных из штамма «АУФ» живой сухой «Листекс» с использованием в качестве иммуностимулятора биопрепарата «Биферон-б» производства ООО «НПЦ «Пробиотех» (Республика Беларусь) // Молекулярно-генетические и биотехнологические основы получения и применения синтетических и природных биологически активных веществ (Нарочанские чтения – 11): мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., – Минск; Ставрополь, 2017. – С. 230–233.
6. Понюхов В.А. Рациональные схемы применения пробиотиков и иммуномодуляторов на основе РНК и их противозпизоотическая эффективность в промышленном птицеводстве: дис. ... канд. вет. наук. – Новосибирск, 2006. – 116 с.

7. Красочко П.А., Красочко И.А., Борисовец Д.С. Иммунный ответ организма лабораторных животных на введение вакцин против моно- и ассоциированных вирусных респираторных инфекций с иммуностимулятором // Приоритеты развития АПК в современных условиях: сб. мат-лов Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 40-летию ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА». Т. 2. – Смоленск, 2014. – С. 309–313.
8. Головки А.М., Мисик М.Ю., Антонов В.С. Использование иммуностимуляторов при вакцинации поросят против сальмонеллеза. Використання імуностимуляторів при вакцинопрофілактиці сальмонельозу поросят // Вет. медицина. – 1998. – Вип. 74. – С. 143–148.
9. Алтынбеков О.М. Влияние иммуностимуляторов на фоне применения вакцины Комбовак на титры специфических антител у коров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2(76). – С. 188–190.
10. Андреева А.В., Николаева О.Н., Алтынбеков О.М. Динамика иммуноглобулинов А, М, G новорожденных телят при применении иммуностимулятора на фоне вакцинации // Современные тенденции инновационного развития ветеринарной медицины, зоотехнии и биологии: мат-лы Всерос. очн.-заочн. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Уфа, 2017. – С. 10–14.
11. Грибко С.М. Иммуностимуляторы в профилактике и терапии респираторных болезней молодняка крупного рогатого скота: автореф. дис. ... канд. вет. наук. – Воронеж, 1998. – 30 с.
12. Кропотов В.С., Середа А.Д., Андреева Т.М. Вакцинация с иммуностимуляторами [Инфекционный ринотрахеит крупного рогатого скота и болезнь Тешена] // Диагностика, профилактика и меры борьбы с особо опасными, экзот. и зооантропоноз. болезнями животных: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Покров, 2000. – С. 76–78.
13. Петрова О.Г., Кольберг Н.А., Рубинский И.А. Характеристика иммуностимуляторов и их классификация // Агропродовольственная политика России. – 2012. – № 6. – С. 69–71.
14. Андреева А.В., Алтынбеков О.М. Действие иммуностимуляторов на эффективность вакцинации коров // Иппология и ветеринария. – 2020. – № 1(35). – С. 21.
15. Алтынбеков О.М. Иммуностимуляторы для эффективности вакцинации коров // Молодые ученые в аграрной науке: сб. мат-лов V Междунар. науч.-практ. конф. – Луганск, 2022. – С. 48–49.
16. Гулов А.Х., Нораев Р.Х., Бобиев Г.М. Способ стимуляции поствакцинального противотейлериезного иммунитета у крупного рогатого скота с помощью иммуностимулятора тимофера // Вестник ветеринарии. – 2002. – № 3(24). – С. 49.
17. Зейналова Ш.К., Аббасов В., Багирзаде Б.Н. Применение иммуностимуляторов в профилактике коронавирусной болезни телят // Бюллетень науки и практики. – 2024. – Т. 10, № 4. – С. 195–200. – DOI: 10.33619/2414-2948/101/29.
18. Жаков М.С., Прибытько С.П. Иммуноморфологические реакции в крови и органах цыплят, вакцинированных против болезни Марека совместно с иммуностимулятором натрия тиосульфатом // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 1994. – Т. 31. – С. 93–96.
19. Жаков М.С., Луппова И.М., Прибытько С.П. Особенности иммуноморфогенеза у цыплят при вакцинации против болезней Марека и Ньюкасла с применением иммуностимуляторов // Проблемы патологии, санитарии и бесплодия в животноводстве: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Х.С. Горегляда и М.К. Юсковца. – Минск, 1998. – С. 119.
20. Лях А.Л. Влияние иммуностимулятора натрия тиосульфата на иммуноморфогенез при парентеральной вакцинации гусят против пастереллеза: автореф. дис. ... канд. вет. наук. – Витебск, 2003. – 20 с.
21. Курилович А.М., Прудников В.С. Влияние иммуностимуляторов на напряженность гуморального иммунитета и показатели иммунной реактивности организма у утят, вакцинированных против вирусного гепатита // Ветеринарная медицина Беларуси. – 2001. – № 4-1. – С. 10–11.
22. Анисько Р.В., Бреславец П.И. Динамика напряженности поствакцинального иммунитета цыплят на фоне применения иммуностимулятора // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2020. – № 4(18). – С. 88–92.
23. Комиссаров В.Б. Совершенствование специфической профилактики ньюкаслской болезни у цыплят на основе применения иммуностимуляторов: автореф. дис. ... канд. вет. наук. – СПб., 2004. – 19 с.
24. Голубев Д.С., Бирман Б.Я. Показатели костномозгового миелопоэза цыплят-бройлеров вакцинированных перорально против инфекционного бронхита с применением иммуностимулятора калия оротата // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2004. – Т. 40, № 1. – С. 193–194.
25. Прибытько С.П. Влияние иммуностимулятора натрия тиосульфата на иммуноморфологические реакции и напряженность иммунитета у цыплят, вакцинированных против болезни Марека // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 1999. – Т. 35, № 1. – С. 109–111.

26. Старов С.К., Сарбасов А.Б., Ельников В.В. Результаты испытаний иммуностимуляторов совместно с живыми вакцинами против ньюкаслской болезни и реовирусного теносиновиита птиц // Актуал. пробл. инфекц. патологии животных: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. – Владимир, 2003. – С. 330–335.
27. Тихонов В.А., Тихонова Г.В., Григорьева В.В. Получение напряженного иммунитета против болезни Ньюкасла иммуностимулятором на основе АСД-фракции 2 // Ветеринария сельскохозяйственных животных. – 2023. – № 11. – С. 31–38.
28. Скогорева А.М., Манжурина О.Н., Прибыткова К.В. Применение иммуностимуляторов для повышения иммуногенности противогриппозной вакцины у водоплавающих птиц // Актуальные вопросы ветеринарной медицины и технологии животноводства: мат-лы науч. и учеб.-метод. конф. проф.-препод. состава, науч. сотр. и аспирантов факультета ветеринарной медицины и технологии животноводства. Т. 1. – Воронеж, 2012. – С. 125–129.
29. Samorek-Salamonowicz E., Czekaj H., Kozdrun W. Immunomodulacja gesi stad reprodukcyjnych a odpornosc matczyzna przeciwko chorobie Derzsyego u potomstwa // Med. wet. – 2001. – R. 57, № 11. – P. 836–839.
30. Прибытько С.П. Влияние иммуностимулятора натрия тиосульфата на иммуноморфогенез у цыплят, вакцинированных против болезни Марека: автореф. дис. ... канд. вет. наук. – Витебск, 1998. – 20 с.
31. Прудников А.В., Бирман Б.Я. Применение иммуностимуляторов для повышения эффективности специфической профилактики вирусных болезней цыплят // Эпизоотология, иммунобиология, фармакология и санитария. – 2004. – № 1. – С. 21–23.
32. Куляшбекова Ш.К. Действие иммуностимуляторов в составе вакцины против болезни Марека // Птицеводство. – 2009. – № 5. – С. 37–38.
33. Прудников В.С., Грушин В.Н., Луппова И.М. Иммуноморфологическое обоснование использования иммуностимуляторов при вакцинации цыплят против болезней Гамборо и Ньюкасла // Ученые записки учреждения образования Витебская орден Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2003. – Т. 39, № 1. – С. 114–116.
34. Evaluation of the Efficacy of Humoral Immunity Response of Killed Oil Adjuvant Escherichia coli Vaccine in Layer Chicken against Avian E. coli Serotype O78 Infection / F. Saemi, A. Shirazi Nezhad, M.H. Hosseini [et al.] // Archives of Razi Inst. – 2025. – № 80(1). – P. 161–168. – DOI: 10.32592/ARI.2025.80.1.161.
35. Kaliappan A., Ramakrishnan S., Panwar K. Triple-TLR agonists' adjuvanted inactivated Newcastle disease virus vaccine promotes effective Th1/Th2 immune responses and affords protective efficacy in chickens // Vaccine. – 2025. – № 66. – P. 127846. – DOI: 10.1016/j.vaccine.2025.127846.
36. Conserved domains of flagellin as adjuvants for an inactivated vaccine against porcine epidemic diarrhea virus / H. Afzal, N.T. Hoa, A. Murtaza [et al.] // Vet J. – 2025. – № 313. – P. 106393. – DOI: 10.1016/j.tvjl.2025.106393.
37. Evaluation of the vaccine formulation with recombinant protein CP01850 and fish oil from Rhamdia quelen: an alternative and innovative adjuvant against Corynebacterium pseudotuberculosis / N.R. Scholl, T.B. Nogueira, M.S.D. Alves [et al.] // Arch Microbiol. – 2025. – № 207(12) P. 340. – DOI: 10.1007/s00203-025-04550-6.
38. Astragalus Polysaccharide Nanoemulsion: A Promising Adjuvant for Foot-And-Mouth Disease Virus-Like Particle Vaccines / X. Shi, Z. Teng, K. Yang, H. Song // Transbound Emerg Dis. – 2025. – P. 6693841. – DOI: 10.1155/tbed/6693841.
39. Казюцки М.В. Экономическая эффективность при иммунизации поросят вакциной СПС с применением иммуностимуляторов // Ученые записки учреждения образования Витебская орден Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2009. – Т. 45, № 2–1. – С. 221–224.
40. Дремач Г.Э., Максимович В.В., Зайцев В.В. Контроль опытной серии депонированной вакцины против рожи свиней, обогащенной иммуностимулятором // Ученые записки учреждения образования Витебская орден Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2000. – Т. 36, № 1. – С. 24–25.
41. Никитенко И.Г., Прудников В.С. Морфологические и иммунологические показатели у крыс и кроликов, вакцинированных против лептоспироза с применением иммуностимуляторов // Ученые записки учреждения образования Витебская орден Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2010. – Т. 46, № 1–1. – С. 43–46.
42. Прудников В.С., Зелютков Ю.Г., Михайлова А.В. Иммунная реактивность организма серебристо-черных лисиц, вакцинированных против чумы, и влияние на нее иммуностимуляторов // Международный аграрный журнал. – 2000. – № 10. – С. 32–35.
43. Прудников А.В. Влияние иммуностимуляторов на напряженность гуморального иммунитета у цыплят при вакцинации против вирусных инфекций // Ученые записки учреждения образования Витебская орден Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2004. – Т. 40, № 1. – С. 278–279.
44. Прудников В.С. Иммуноморфогенез у животных, перорально вакцинированных против сальмонеллеза, и влияние на него иммуностимуляторов: автореф. дис. ... д-ра вет. наук. – Л., 1991. – 36 с.
45. Прудников В.С., Егоров В.М., Ханис А.Ю. Иммунный ответ организма животных на введение вакцины вакдерм в сочетании с иммуностимуляторами // Успехи медицинской микологии. – 2004. – Т. 4. – С. 75.

46. Михайлова А.В., Прудников В.С., Герасимчик В.А. Сравнительная эффективность влияния иммуностимуляторов на напряженность иммунитета у норок, вакцинированных против чумы // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 1998. – Т. 34, № 1. – С. 161–163.
47. Руднева О.В., Бережко В.К., Написанова Л.А. Оценка протективной эффективности антигена *Toxosara canis* в комплексе с иммуностимулятором при токсокарозе на лабораторной модели // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. – 2017. – № 18. – С. 404–406.
48. Максимович В.В., Дремач Г.Э., Зайцев В.В. Иммуногенез у кроликов, привитых депонированной вакциной против рожи свиней в сочетании с различными иммуностимуляторами // Международный аграрный журнал. – 2000. – № 1. – С. 42–44.
49. Применение иммуностимуляторов для усиления поствакцинального иммунитета у животных / Е.И. Большакова, В.С. Прудников, И.Н. Громов, А.В. Михайлова // Актуальные проблемы патологии сельскохозяйственных животных: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию со дня образования БелНИИЭВ им. С.Н. Вышелесского. – Минск, 2000. – С. 63–66.
50. Прибытько С.П. Влияние иммуностимулятора натрия тиосульфата на иммуноморфогенез у цыплят, вакцинированных против болезни Марекса // Ветеринарные и зооинженерные проблемы в животноводстве и научно-методическое обеспечение учебного процесса: мат-лы II Междунар. науч.-практ. конф. – Витебск, 1997. – С. 206–208.

REFERENCES

1. Koromyslov G.F., Poloz D.D., Kryukov N.N., *Proceedings of the All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after Ya.R. Kovalenko*, 1985, Vol. 62, pp. 3–7. (In Russ.)
2. Cheskidova L.V., Bryukhova I.V., Grigorieva N.A., *Veterinary Pharmacological Bulletin*, 2019, No. 2(7), pp. 29–38, DOI: 10.17238/issn2541-8203.2019.2.29. (In Russ.)
3. Voitenko V.D., Andreeva N.L., *International Bulletin of Veterinary Medicine*, 2014, No. 3, pp. 44–48. (In Russ.)
4. Koshcheev, N.N., Boganets N.S., Pankratova A.D., *Problemy stabilizatsii i razvitiya sel'skhozaystvennogo proizvodstva Sibiri, Mongolii i Kazakhstana v XXI veke* (Problems of Stabilization and Development of Agricultural Production in Siberia, Mongolia, and Kazakhstan in the 21st Century), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk, 1999, pp. 216–217. (In Russ.)
5. Zaerko V.I., Abakin S.S., Potapovich M.I., *Molekulyarno-geneticheskie i biotekhnologicheskie osnovy polucheniya i primeneniya sinteticheskikh i prirodnih biologicheskii aktivnykh veshchestv (Narochanskii chteniya – 11)* (Molecular genetic and biotechnological foundations for the production and use of synthetic and natural biologically active substances (Narochany Readings – 11)), Proceedings of the Conference Title, Minsk; Stavropol, 2017, pp. 230–233. (In Russ.)
6. Ponyukhov V.A., *Ratsional'nye skhemy primeneniya probiotikov i immunomodulyatorov na osnove RNK i ih protivopizooticheskaya effektivnost' v promyshlennom pticevodstve* (Rational schemes for using probiotics and RNA-based immunomodulators and their anti-epizootic effectiveness in poultry), Abstract of a candidate of sciences dissertation Novosibirsk, 2006, 116 p.
7. Krasochko P.A., Krasochko I.A., Borisovets D.S., *Prioritety razvitiya APK v sovremennykh usloviyakh* (Priorities of Agricultural Development in Modern Conditions), Proceedings of the Conference Title, Vol. 2, Smolensk, 2014, pp. 309–313. (In Russ.)
8. Golovko A.M., Misik M.Yu., Antonov V.S., *Vet. Medicine*, 1998, Issue 74, pp. 143–148. (In Russ.)
9. Altynbekov O.M., *Izvestiya of the Orenburg State Agrarian University*, 2019, No. 2(76), pp. 188–190. (In Russ.)
10. Andreeva A.V., Nikolaeva O.N., Altynbekov O.M., *Sovremennye tendentsii innovatsionnogo razvitiya veterinarnoy mediciny, zootekhnii i biologii* (Modern trends in innovative development of veterinary medicine, animal science and biology), Proceedings of the Conference Title, Ufa, 2017, pp. 10–14. (In Russ.)
11. Gribko S.M., *Immunostimulyatory v profilaktike i terapii respiratornykh boleznej molodnyaka krupnogo rogatogo skota* (Immunostimulants in the Prevention and Treatment of Respiratory Diseases in Young Cattle), Abstract of a Dissertation for the Degree of Candidate of Veterinary Sciences, Voronezh, 1998, 30 p.
12. Kropotov V.S., Sereda A.D., Andronova T.M., *Diagnostika, profilaktika i mery bor'by s osobo opasnymi, ekzot. i zoonoznymi boleznyami zhivotnykh* (Diagnosis, prevention and control measures for particularly dangerous, exot. and zoonoses. Diseases of Animals), Collection of Articles, Pokrov, 2000, pp. 76–78. (In Russ.)
13. Petrova O.G., Kolberg N.A., Rubinsky I.A., *Agro-Food Policy of Russia*, 2012, No. 6, pp. 69–71. (In Russ.)
14. Andreeva A.V., Altynbekov O.M., *Hippology and Veterinary Medicine*, 2020, No. 1(35), pp. 21. (In Russ.)
15. Altynbekov O.M., *Molodye uchenye v agrarnoy nauke* (Young Scientists in Agricultural Science), Collection of Materials of Conference, Lugansk, 2022, pp. 48–49. (In Russ.)
16. Gulov A.Kh., Noraev R.Kh., Bobiev G.M., *Bulletin of Veterinary Medicine*, 2002, No. 3(24), pp. 49. (In Russ.)

17. Zeynalova Sh.K., Abbasov V., Bagirzade B.N., *Bulletin of Science and Practice*, 2024, Vol. 10, No. 4, pp. 195–200, DOI: 10.33619/2414-2948/101/29. (In Russ.)
18. Zhakov M.S., Pribytko S.P., *Scientific notes of the institution Education Vitebsk Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine*, 1994, Vol. 31, pp. 93–96. (In Russ.)
19. Zhakov M.S., Luppova I.M., Pribytko S.P., *Problemy patologii, sanitarii i besplodiya v zhivotnovodstve* (Problems of Pathology, Sanitation, and Infertility in Animal Husbandry), Proceedings of the International Scientific, Minsk, 1998, pp. 119. (In Russ.)
20. Lyakh A.L., *Vliyanie immunostimulyatora natriya tiosul'fata na immunomorfogenez pri parenteral'noj vakcinacii gusyat protiv pasterelleza* (The effect of sodium thiosulfate immunostimulant on immunomorphogenesis during parenteral vaccination of goslings against pasteurellosis), Abstract of the thesis for the degree of Candidate of Veterinary Sciences, Vitebsk, 2003, 20 p.
21. Kurilovich A.M., Prudnikov V.S., *Veterinary Medicine of Belarus*, 2001, No. 4–1, pp. 10–11. (In Russ.)
22. Anisko R.V., Breslavets P.I., *Actual issues of agricultural biology*, 2020, No. 4(18), pp. 88–92. (In Russ.)
23. Komissarov V.B., *Sovershenstvovanie specificheskoy profilaktiki n'yukaslskoj bolezni u cyplyat na osnove primeneniya immunostimulyatorov* (Improvement of Specific Prevention of Newcastle Disease in Chickens Based on the Use of Immunostimulants): Abstract of the Dissertation for the Degree of Candidate of Veterinary Sciences, Saint Petersburg, 2004, 19 p.
24. Golubev D.S., Birman B.Ya., *Scientific Notes of the Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine*, 2004, Vol. 40, No. 1, pp. 193–194. (In Russ.)
25. Pribytko S.P., *Scientific Notes of the Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine*, 1999, Vol. 35, No. 1, pp. 109–111. (In Russ.)
26. Starov S.K., Sarbasov A.B., Yelnikov V.V., *Aktual. probl. infekc. patologii zhivotnyh* (Actualis. probl. infection. pathology of animals), Proceedings of the International Scientific, Vladimir, 2003, pp. 330–335. (In Russ.)
27. Tikhonov V.A., Tikhonova G.V., Grigorieva V.V., *Veterinary Medicine of Farm Animals*, 2023, No. 11, pp. 31–38. (In Russ.)
28. Skogoreva A.M., Manzhurina O.N., Pribytkova K.V., *Aktual'nye voprosy veterinarnoj mediciny i tekhnologii zhivotnovodstva* (Actual Issues of Veterinary Medicine and Animal Husbandry Technology), Materials of the scientific and educational conference, Vol. 1, Voronezh, 2012, pp. 125–129. (In Russ.)
29. Samorek-Salamonowicz E., Czekaj H., Kozdrun W., Immunomodulacja gesi stad reprodukcyjnych a odpornosc matczyzna przeciwko chorobie Derzsyego u potomstwa, *Med. weter.*, 2001, R.57, No. 11, pp. 836–839.
30. Pribytko S.P., *Vliyanie-immunostimulyatora-natriya-tiosulfata-na-immunomorfogenez-u-cyplyat-vakcinirovannyh-protiv-bolezni-mareka* (Influence of the immunostimulant sodium thiosulfate on immunomorphogenesis in chickens vaccinated against Marek's disease), Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Veterinary Sciences, Vitebsk, 1998, 20 p.
31. Prudnikov A.V., Birman B.Ya., *Epizootiology, Immunobiology, Pharmacology, and Sanitation*, 2004, No. 1, pp. 21–23. (In Russ.)
32. Kulyashbekova Sh.K., *Poultry farming*, 2009, No. 5, pp. 37–38. (In Russ.)
33. Prudnikov V.S., Grushin V.N., Luppova I.M., *Scientific notes of the Vitebsk Educational Institution of the Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine*, 2003, Vol. 39, No. 1, pp. 114–116. (In Russ.)
34. Saemi F., Shirazi Nezhad A., Hosseini M.H., Hashemi M., Rahimian A., Evaluation of the Efficacy of Humoral Immunity Response of Killed Oil Adjuvant Escherichia coli Vaccine in Layer Chicken against Avian E. coli Serotype O78 Infection, *Arch Razi Inst*, 2025, No. 80(1), pp. 161–168, DOI: 10.32592/ARI.2025.80.1.161.
35. Kaliappan A., Ramakrishnan S., Panwar K., Triple-TLR agonists' adjuvanted inactivated Newcastle disease virus vaccine promotes effective Th1/Th2 immune responses and affords protective efficacy in chickens, *Vaccine*, 2025, No. 66, pp. 127846, DOI: 10.1016/j.vaccine.2025.127846.
36. Afzal H., Hoa N.T., Murtaza A., Doan T.D., Chung Y.C., Ke G.M., Cheng L.T., Conserved domains of flagellin as adjuvants for an inactivated vaccine against porcine epidemic diarrhea virus, *Vet J.*, 2025, No. 313, pp. 106393, DOI: 10.1016/j.tvjl.2025.106393.
37. Scholl N.R., Nogueira T.B., Alves M.S.D., Pegoraro H.G., Sousa F.S.S., Seixas F.K., Collares T., Bueno D.T., de Pereira Pereira C.M., Borsuk S., Evaluation of the vaccine formulation with recombinant protein CP01850 and fish oil from Rhamdia quelen: an alternative and innovative adjuvant against Corynebacterium pseudotuberculosis, *Arch Microbiol.*, 2025, No. 207(12), pp. 340, DOI: 10.1007/s00203-025-04550-6.
38. Shi X., Teng Z., Yang K., Song H., Astragalus Polysaccharide Nanoemulsion: A Promising Adjuvant for Foot-And-Mouth Disease Virus-Like Particle Vaccines, *Transbound Emerg Dis.*, 2025, pp. 6693841, DOI: 10.1155/tbed/6693841.
39. Kazyuchits M.V., *Scientific Notes of the Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine*, 2009, Vol. 45, No. 2–1, pp. 221–224. (In Russ.)
40. Dremach G.E., Maksimovich V.V., Zaitsev V.V., *Scientific Notes of the Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine*, 2000, Vol. 36, No. 1, pp. 24–25. (In Russ.)

41. Nikitenko I.G., Prudnikov V.S., *Scientific Notes of the Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine*, 2010, Vol. 46, No. 1–1, pp. 43–46. (In Russ.)
42. Prudnikov V.S., Zelyutkov Yu.G., Mikhailova A.V., *International Agrarian Journal*, 2000, No. 10, pp. 32–35. (In Russ.)
43. Prudnikov A.V., *Scientific Notes of the Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine*, 2004, Vol. 40, No. 1, pp. 278–279. (In Russ.)
44. Prudnikov V.S., *Immunomorfogenez u zhivotnyh peroralno vakcinirovannyh protiv salmonelleza I vliyanie na nego immunostimulyatorov* (Immunomorphogenesis in Animals orally Vaccinated against Salmonellosis and the Influence of Immunostimulants on It), Abstract of a Dissertation for the Degree of Doctor of Veterinary Sciences, Leningrad, 1991, 36 p. (In Russ.)
45. Prudnikov V.S., Egorov V.M., Khanis A.Yu., *Advances in Medical Mycology*, 2004, Vol. 4, pp. 75. (In Russ.)
46. Mikhailova A.V., Prudnikov V.S., Gerasimchik V.A., *Scientific Notes of the Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine*, 1998, Vol. 34, No. 1, pp. 161–163. (In Russ.)
47. Rudneva O.V., Berezhko V.K., Napisanova L.A., *Theory and Practice of Parasitic Diseases Control*, 2017, No. 18, pp. 404–406. (In Russ.)
48. Maksimovich V.V., Dremach G.E., Zaitsev V.V., *International Agrarian Journal*, 2000, No. 1, pp. 42–44. (In Russ.)
49. Bolshakova E.I., Prudnikov V.S., Gromov I.N., Mikhailova A.V., *Aktual'nye problemy patologii sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh* (Actual problems of pathology of farm animals), Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Minsk, 2000, pp. 63–66. (In Russ.)
50. Pribytko S.P., *Veterinarnye i zootekhnicheskiye problemy v zhivotnovodstve i nauchno-metodicheskoe obespechenie uchebnogo processa* (Veterinary and Zootechnical Problems in Animal Husbandry and Scientific and Methodological Support of the Educational Process), Materials of the International Scientific and Practical Conference, Vitebsk, 1997, pp. 206–208. (In Russ.)

Информация об авторах:

Г.В. Кошель, аспирант

Н.Н. Шкиль, доктор ветеринарных наук, доцент

Contribution of the authors:

G.V. Koshel, Postgraduate Student

N.N. Shkil, Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ОБНОВЛЕННЫЕ ПОДХОДЫ К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ПЛЕМЕННОЙ ЦЕННОСТИ АРАБСКИХ ЧИСТОКРОВНЫХ ЛОШАДЕЙ ПО СКАКОВОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И КАЧЕСТВУ ПОТОМСТВА

¹М.А. Политова, ²А.В. Акимова, ³Е.В. Верденберг

¹ФГБНУ ВНИИ племенного дела, Лесные Поляны, Россия,

²ООО «НАСИБ», Пятигорск, Россия

³АО «Терский племенной конный завод №169», Пятигорск, Россия

E-mail: politova-marina@yandex.ru

Для цитирования: Политова М.А., Акимова А.В., Верденберг Е.В. Обновленные подходы к комплексной оценке племенной ценности арабских чистокровных лошадей по скаковой работоспособности и качеству потомства // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 129–139. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-129-139.

Реферат. Совершенствование методологии оценки племенной ценности лошадей по скаковой работоспособности является актуальной задачей современного коневодства. Целью исследования стала разработка такой системы для арабских чистокровных лошадей на основании результатов ипподромных испытаний. Материалом послужили данные 3690 стартов 621 лошади за 2020–2024 гг. Для характеристики работоспособности использовались два ключевых показателя, основанных на занятом месте и категории сложности скачки: рейтинг P2024 и скорректированный трансформированный ранг (КТР). Статистический анализ включал расчет корреляций, повторяемости, наследуемости (h^2), а также оценку племенной ценности лошадей и жеребцов-производителей по качеству потомства с вычислением абсолютных и относительных показателей. Установлена чрезвычайно высокая корреляция между показателями P2024 и КТР ($r = 0,98$). Показатель КТР продемонстрировал более высокую прогностическую надежность: коэффициент повторяемости результатов от двух к трем годам составил 0,24 против 0,16 у P2024. Наследуемость скаковой работоспособности оказалась умеренной: 0,18 для двухлеток и 0,40 для трехлеток. На основе расчета племенной ценности выявлены статистически значимые улучшатели и ухудшатели среди жеребцов-производителей. Подтверждена эффективность ранней оценки: лошади с низкими результатами в двухлетнем возрасте сохраняли низкую продуктивность и в трехлетнем. Разработанная система позволяет объективно оценивать скаковые качества лошадей и селекционный потенциал производителей. Показатель КТР признан более предпочтительным для использования в селекционной практике благодаря стабильности и высокой повторяемости. Для интеграции в существующую систему бонитировки рекомендовано разработать шкалу перевода значений КТР в стандартные бонитировочные баллы с учетом возрастных особенностей.

Ключевые слова: коневодство, скаковая работоспособность, племенная ценность, арабская чистокровная, ипподром, скорректированный трансформированный ранг (КТР), наследуемость.

UPDATED APPROACHES TO ASSESSING BREEDING VALUE IN PUREBRED ARABIAN HORSES: EVALUATION OF INDIVIDUAL RACING PERFORMANCE AND SIRE PROGENY QUALITY

¹M.A. Politova, ²A.V. Akimova, ³E.V. Werdenberg

¹Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Breeding” (FGBNU VNIImplem), Lesnye Polyany, Russia

²LLC “NASIB”, Pyatigorsk, Russia

³JSC “Tersky Stud Farm No. 169”, Pyatigorsk, Russia

E-mail: politova-marina@yandex.ru

Abstract. Improving the methodology for assessing the breeding value of horses based on racing performance is a relevant task in modern horse breeding. The aim of the study was to develop such a system for purebred Arabian horses based on the results of racetrack trials. The research material consisted of records from 3,690 starts of 621 horses from 2020 to 2024. Two key indicators based on the placing and the category (complexity) of the race were used to characterize performance: the R2024 rating and the Adjusted Transformed Rank (ATR). Statistical analysis included the calculation of correlations, repeatability, heritability (h^2), as well as the assessment of the breeding value (BV) of horses and sires based on progeny quality, with the calculation of Absolute (ABV) and Relative (RBV) breeding value indices. An extremely high correlation was established between the R2024

and ATR indicators ($r = 0.98$). The ATR indicator demonstrated higher predictive reliability: the repeatability coefficient of results from two to three years of age was 0.24 compared to 0.16 for R2024. The heritability of racing performance was moderate: 0.18 for two-year-olds and 0.40 for three-year-olds. Based on the calculation of breeding value, statistically significant “improver” and “deteriorator” sires were identified. The effectiveness of early evaluation was confirmed: horses with low results at two years of age maintained low productivity at three years. The developed system allows for an objective assessment of the racing qualities of horses and the breeding potential of sires. The ATR indicator has been recognized as more preferable for use in breeding practice due to its stability and high repeatability. For integration into the existing grading system, it is recommended to develop a scale for converting ATR values into standard grading scores, taking into account age characteristics.

Keywords: horse breeding, racing performance, breeding value, Arabian Thoroughbred, racetrack, rating, adjusted transformed rank (ATR), heritability.

Скачки лошадей на ипподромах во многих странах мира являются разновидностью ипподромного спорта и регламентируются организациями (национальными жокей-клубами или скаковыми сообществами), которые разрабатывают нормативную документацию и устанавливают правила, включая порядок квалификации тренеров, жокеев и лошадей к выступлениям. В Российской Федерации закрепился подход, принятый в Советском Союзе, рассматривающий выступление лошади в скачках как метод оценки работоспособности, т. е. испытания, необходимые для оценки племенной ценности и принятия решения о допуске в разведение [1]. В отличие от верховых пород спортивного направления, где испытания лишь косвенно характеризуют конечный характер использования лошади [2, 3], у лошадей скаковых пород ипподром является конечным назначением.

Важным условием интенсификации селекции в любой отрасли животноводства является оценка животных по собственной продуктивности, а производящего состава – по качеству потомства [4–7]. Действующая инструкция по бонитировке лошадей заводских пород, испытываемых в скачках, предполагает начисление баллов в зависимости от проявленной скаковой работоспособности: например, «тренирована, но не скакала» – 3 балла, «выиграла первое место в именных призах» – 7 баллов с добавлением до 2 баллов за победы в традиционных призах (их перечень приведен в Правилах испытаний) или победы в стипль-чезах или барьерных скачках. Для отнесения лошади к классу «Элита» жеребцу достаточно набрать 6 баллов за работоспособность, кобыле – 4. Кроме того, в ряде случаев для характеристики работоспособности приводится резвость лошади на определенную дистанцию [8, 9].

Такой подход подразумевает однократную оценку лошади по итоговой (пожизненной) работоспособности и не учитывает современных реалий, предполагающих значительно более сложную систему организаций ипподромного дела, включая наличие закрытых призов, призов с платной записью, а также участие лошади в зарубежных скачках. Поэтому инициативной группой была разработана методика расчета рейтинга, учитывающая занятое лошади место и уровень (категорию) скачки. Так, скачки на нелегализованном кругу (ипподроме), скачки на базе предприятий, межпородные, скачки по снегу отнесены к самой низкой категории сложности (Fun), наиболее высокий рейтинг имеют международные скачки категории А – всего категорий 16 [10]. От уровня скачки зависит «стоимость» первого места в пунктах (от 3 до 800), за 2-е место начисляется 50 % от максимального количества пунктов, за 3-е – 25 %, 4-е – 12,5 % и т.д. По итогам сезона осуществляется подсчет набранных баллов и составляются рейтинги лошадей, тренеров, племенных предприятий. В то же время существуют другие методики оценки работоспособности и племенной ценности животных в состязаниях, где основным результатом является занятое место, однако в приложении скаковой работоспособности они апробированы не были [11].

Целью исследования являлась разработка и апробация методики оценки собственной работоспособности и племенной ценности арабских чистокровных лошадей на основе современных показателей скаковой работоспособности (рейтинговые баллы и скорректированный трансформированный ранг), а также оценка жеребцов-производителей по качеству потомства.

Задачами были: определение количественных характеристик скаковых испытаний арабской чистокровной породы в России; оценка повторяемости и наследуемости скаковой работоспособности лошадей в разном возрасте, а также надежности предложенных характеристик работоспособности для прогнозирования успешности; оценка племенной ценности лошадей и жеребцов-производителей

по результатам потомства в скачках, а также установление возможности использования рейтинговых баллов и скорректированного трансформированного ранга для оценки лошадей по собственной работоспособности и качеству потомства.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом исследований послужили результаты скаковых испытаний 621 лошади арабской чистокровной породы за 2020–2024 гг. (всего 3690 записей), происходящих от 111 жеребцов. По каждой лошади были учтены кличка, год рождения, заводчик (место рождения), происхождение; по каждой скачке – дата, место проведения (ипподром), показанное время, занятое место, дистанция (м), группа (уровень) скачки.

Для определения оптимальной характеристики скаковой работоспособности были сравнены резвость на 1000 м, относительное место (КТР) и рейтинговые пункты (Р2024). Рейтинговые пункты рассчитывались по предложенной в 2024 г. системе, также рассчитана резвость в пересчете на 1000 м. При определении Р2024 баллы за каждое выступление начислялись в зависимости от занятого места и категории сложности скачки (от трех за победу на низком уровне до восьмисот – в скачках категории А) [10]. КТР рассчитывается по формуле

$$\text{КТР} = 22,5 - \sqrt{(M + k_1 + k_2)},$$

где M – занятое место, k_1 – коэффициент уровня скачки, k_2 – надбавка за сложность.

Так, k_1 для наивысшего уровня сложности (международные скачки 1А) составляет 0, а $k_2 = 4$; для минимального уровня сложности 475 и 0 соответственно [11, 12].

Оценка племенной ценности (ПЦ) лошади проводилась по методике, предложенной белорусскими специалистами [13]. Частный индекс по скаковой работоспособности рассчитывался как разность между показателем лошади и ее сверстников, умноженный на коэффициент наследуемости и переведенный для удобства в процентную форму [14].

Племенная ценность жеребца-производителя рассчитывалась по модернизированной методике, основанной на принципе сравнения потомков со средней по сверстникам.

$$\text{АПЦ} = \frac{\text{SUM} (\Pi_{i,j,k} - C_{i,j,k}) \times w_{i,j,k}}{\text{SUM} (w_{i,j,k})},$$

где АПЦ – абсолютная племенная ценность; $\Pi_{i,j,k}$ – средняя продуктивность (работоспособность) потомков; $C_{i,j,k}$ – средняя продуктивность (работоспособность) сверстников; $w_{i,j,k}$ – количество эффективных потомков.

Количество эффективных потомков рассчитывается по формуле

$$w_{i,j,k} = \frac{n_1 \times n_2}{n_1 + n_2},$$

где n_1 – количество потомков производителя, n_2 – количество сверстников потомка производителя.

Относительная племенная ценность рассчитывалась по формуле

$$\text{ОПЦ} = \frac{\text{АПЦ} + X_i}{X_i} \times 100,$$

где X_i – средний показатель признака в популяции.

Индексы ОПЦ пересчитывались в стандартизированную форму ($\Pi_{\text{ст}}$) на среднюю 100 со стандартным отклонением 20.

Сравнение групп производилось общепринятыми методами вариационной статистики, и, если не указано иное, при $p < 0,05$. Сила влияния факторов оценивалась с применением метода дисперсионного анализа, коэффициент наследуемости h^2 определялся с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Для расчетов использовались программные продукты Microsoft Excel 2013 и Statistica for Windows 7.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В среднем за пятилетний период в каждый скаковой сезон выступала 191 лошадь с колебаниями от 176 гол. в 2024 г. до 210 гол. в 2021 г. Подавляющее большинство испытанных приходится на 2-летних лошадей (от 42 до 50,5 % ежегодно, в среднем 47,3 %), доля 3-летних составила 37,9 % (от 34,8 до 41,5 %). В табл. 1 представлено распределение испытанных лошадей разного возраста по сезонам. Общее количество испытанных 2-летних лошадей за пятилетний период составило 453 гол., 3-летних – 361 гол. По данным селекционного центра по арабской чистокровной породе, на испытания поставляется 43,5 % двухлеток, 36,1 % трехлеток, 20,4 % лошадей четырех лет и старше [15].

Предыдущие исследования других авторов показали, что резвость лишь ограниченно способна характеризовать скаковой класс лошади [16–18], поскольку он в значительной степени зависит от внешних условий в день проведения скачки (покрытие и состояние дорожки и качества инфраструктуры, погодные условия), человеческого фактора (тренер, жокей, ветеринарный врач), количества и уровня участвующих в скачке лошадей.

Сопоставив показатели P2024 и КТР, мы установили, что между ними наблюдается достоверная положительная корреляция на уровне 0,98 ($p < 0,01$), при этом оба эти показателя отрицательно коррелируют со временем, затраченным на прохождение дистанции (-0,12, $p < 0,01$), что соответствует более высокой резвости.

Таблица 1

Распределение испытанных лошадей арабской чистокровной породы по возрастам и сезонам
Distribution of tested Arabian Thoroughbred horses by age and season

Показатель	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Всего испытано, гол.	187	210	192	190	176
Двухлетние, %	47,6	50,5	46,9	49,5	42,0
Трехлетние, %	34,8	35,7	37,5	40,0	41,5
Лошади четырех лет и старше, %	17,6	13,8	15,6	10,5	16,5

С помощью однофакторного дисперсионного анализа установлено, что индивидуальный фактор лошади оказывает значимое влияние на показатель работоспособности: 0,23 для КТР; 0,20 для P2024, в то время как влияние фактора отца (h^2 , коэффициент наследуемости) при рассмотрении всей выборки испытанных лошадей находится в слабой зоне: 0,08 для КТР; 0,07 для P2024. Следует, однако, учесть, что КТР, как и P2024, напрямую зависят от возраста лошади, поскольку определяются условиями допуска ее на скачки разного уровня. Поэтому в дальнейшем мы сосредоточились в первую очередь на группе лошадей 2-летнего возраста: в этой возрастной категории испытано максимальное поголовье с минимальным предварительным отбором. Было установлено, что лошади 3-летнего возраста стартуют достоверно чаще, чем 2-летние (4,2 старта в сезон против 3,3, $F = 1,69^{***}$). Средние показатели работоспособности лошадей двух и трех лет приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика скаковой работоспособности лошадей арабской чистокровной породы
в возрасте двух и трех лет
Characteristics of the racing performance of Arabian Thoroughbred horses at the age of two and three years

Возрастная категория	Стартов		КТР		P2024	
	М	σ	М	σ	М	σ
Два года (447 гол.)	3,3	1,66	3,5***	1,97	131,1***	130,20
Три года (353 гол.)	4,2	2,16	6,6	3,41	299,1	209,26

Здесь и далее * обозначает наличие достоверной разности между группами при $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$; ns (non-significant) – отсутствие таковой, в случае, если это необходимо подчеркнуть.

Фактор сезона значимо, но крайне слабо влияет на работоспособность лошадей 2-летнего возраста: сила влияния фактора года испытаний на оба показателя составляет 0,023, что позволяет в будущем, а также при переходе на другие методы, например, BLUP [19], пренебречь им.

Закономерным образом уровень работоспособности, выраженный в пунктах и баллах, увеличивается с возрастом, что заложено в самом принципе расчета КТР и P2024. Это позволяет в будущем составить шкалу, позволяющую перевести данные показатели в баллы бонитировки в зависимости от сроков проверки работоспособности. Средняя результативность лошадей 2-летнего возраста по ставкам (годам рождения) представлена в табл. 3.

Таблица 3

**Результативность выступлений лошадей арабской чистокровной породы
в 2-летнем возрасте по годам рождения
Performance of Arabian Thoroughbred horses at 2 years of age by year of birth**

Ставка	Кол-во голов	КТР			P2024		
		М	σ	Cv, %	М	σ	Cv, %
2018	89	3,6	1,77	49,0	142,2	126,45	88,9
2019	105	3,2	1,96	62,1	112,0	124,84	111,5
2020	73	4,0	2,14	52,9	164,6	151,80	92,2
2021	92	3,2	1,90	58,6	110,5	110,79	100,3
2022	88	3,5	2,04	57,5	136,6	134,89	98,7

При этом отмечается, что размах вариации у показателя P2024 существенно выше, чем у показателя КТР, поскольку даже в 2-летнем возрасте у лошадей существует возможность стартовать в престижных скачках с более высоким рейтингом. Однако если оставить за пределами рассмотрения условия записи на такие призы и тот факт, что в них встречаются наиболее перспективные лошади, окажется, что с точки зрения занятых мест оценка по успешности остается более объективной.

Примечательно, что коэффициенты корреляции между КТР и P2024 по годам различаются: 2018 г. – 0,88; 2019 г. – 0,97; 2020 г. – 0,93; 2021 г. 0,97; 2022 г. – 0,97, но остаются высоко достоверными. Это можно интерпретировать таким образом, что для ранжирования лошадей по скаковому классу можно использовать оба показателя, однако уровень «рейтинговости» и финансовой поддержки отдельных скачек, определяющих показатель P2024, варьирует от сезона к сезону.

Показатель наследуемости скаковой работоспособности в двухлетнем возрасте оказался низким 0,18...0,25, в объединенной группе 2–3-летних лошадей – 0,34, при расчете для выборки лошадей 3-летнего возраста – 0,40. Сходные результаты получены и другими авторами: так, по показателям, характеризующим результативность в занятом месте, h^2 находился в диапазоне 0,12...0,25, по сумме выигрыша 0,17...0,46, и это выше, чем непосредственно наследуемость резвости [20–22]. Это в целом соответствует наследуемости показателей работоспособности и в других направлениях использования лошадей [13, 23]. С учетом данной характеристики мы определили племенную ценность испытанных лошадей 2-летнего возраста. При этом 18,2 % лошадей попали в группу высококлассных (превосходящих среднюю по выборке на одно стандартное отклонение и более), 22,5 % попали в группу худших (результат ниже группы на одно стандартное отклонение).

Свидетельством надежности прогнозирования скаковой работоспособности по успешности в первый сезон служит тот факт, что из числа лошадей, выступавших в двухлетнем возрасте хуже сверстников (101 гол.), только 48 гол. были направлены на испытания и в возрасте трех лет (они составили 13,5 % испытанных трехлеток). Их средняя работоспособность была достоверно (при $p < 0,01$) ниже, чем остальных испытанных в три года: КТР 5,3 против 6,8 прочих, P2024 231,8 против 306,7, таким образом, в целом по результативности они уступали сверстникам и в старшем возрасте.

Из лошадей, отнесенных к лучшим (82 головы), в трехлетнем возрасте на ипподром были направлены 53 гол. (64,6 %). Их средняя результативность также превышала успешность сверстников в трехлетнем возрасте: КТР 7,5 против 6,4 (достоверно при $p < 0,01$), рейтинг 337,1 против 292,6 (ns).

Для оценки повторяемости показателей были отобраны лошади, которые стартовали в возрасте и двух, и трех лет (231 гол.). При этом КТР в два года достоверно положительно связан с КТР в три года: коэффициент корреляции составил 0,19 (при $p < 0,001$), а вот связь между средним рейтинговым

баллом в два года и три года не является достоверной ($r = 0,10$). В то же время КТР в два года позволяет достаточно достоверно прогнозировать рейтинговую успешность (P2024) в три года ($r = 0,15^{**}$). Сопоставив результативность, выраженную в КТР и P2024 в разных возрастах, мы обнаружили, что средние показатели достоверно увеличились, что закономерно с учетом повышения категории сложности скачек. Различия были достоверны при $p < 0,001$. Поэтому для определения повторяемости работоспособности, измеренной двумя средними показателями, мы провели ранжирование лошадей по обоим и определили коэффициент ранговой корреляции (табл. 4).

Таблица 4

Коэффициенты ранговой корреляции
Rank correlation coefficients

Показатель	Два года		Три года	
	Ранг КТР (№ 1)	Ранг P2024 (№ 2)	Ранг КТР (№ 3)	Ранг P2024 (№ 4)
№ 1	–	0,95***	0,24***	0,20***
№ 2		–	0,20***	0,16***
№ 3			–	0,98***

В пределах каждой возрастной группы оба показателя обеспечивают схожий порядок ранжирования лошадей: коэффициент корреляции по КТР составляет 0,95 для животных двух лет и 0,98 для животных трех лет. Повторяемость ранга по КТР составила 0,24 ($p < 0,01$), по рейтинговым баллам – 0,16 ($p < 0,01$). Таким образом, показатель КТР оказывается более надежным для прогнозирования успешности лошади в двухлетнем возрасте.

По итогам скаковых испытаний в возрасте двух лет лошадь впервые оценивается по собственной работоспособности, что делает возможным оценку отцов по качеству потомства. ПЦ жеребцов по скаковой работоспособности потомства в возрасте двух лет была рассчитана для 79 производителей, максимальное число потомков составляло 31 голову, по десяти головам приплода, как это предписывает инструкция по бонитировке [9], более могли быть оценены только 18 жеребцов. Отрицательная абсолютная племенная ценность характерна для 49 жеребцов: их потомки уступали сверстникам. Что касается относительной племенной ценности, учитывающей также вариабельность показателей, ухудшателями стали жеребцы под номерами в базе Ассоциации заводчиков 45, 139, 11593, 6146, 10357, 627, они уступают по ОПЦ другим жеребцам более чем на одно стандартное отклонение, при этом порог точности оценки 70 % превысил 6146. К улучшателям могут быть отнесены жеребцы 8346, 3060*, 786*, 337, 144, 468, 301*, 355 (точность выше 70 % имели № 3060, 301, 26). Жеребцы, помеченные звездочкой, относятся к числу наиболее ценных. При определении племенной ценности на основании баллов рейтинга P2024 в число улучшателей вошли также 26 и 4942, а вот жеребец 139 оказался в зоне нейтральных.

При составлении большинства рейтингов за период времени общепринятой практикой является суммирование набранных баллов (по предприятиям, животным, отцам). Мы проанализировали также возможность использования для ранжирования по итогам сезона не только P2024, но и сумму КТР потомков, коэффициент корреляции между этими показателями составил 0,99 (при $p < 0,01$). Это позволяет использовать обе системы практически с одинаковыми результатами, что подчеркивает их адекватность практике. Коэффициент ранговой корреляции между результатами отцов в разных системах оценки составил 0,97, при этом наибольшее «разночтение» в положении жеребца в итоговой рейтинговой таблице наблюдается в средней зоне. Мы также провели сопоставление показателей, которые могут характеризовать жеребцов-производителей по итогам выступлений потомства в скачках (табл. 5). Очевидно, что, располагая жеребцов в порядке убывания суммы набранных потомством баллов P2024, получим порядок, практически идентичный ранжированию по сумме пунктов КТР за сезон.

Таблица 5

Коэффициенты корреляции между показателями, характеризующими наследственность в отношении скаковой работоспособности потомства в двухлетнем возрасте
Correlation coefficients between the indicators characterizing heredity in relation to the racing performance of offspring at two years of age

Показатель	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Сумма рейтинговых баллов Р2024	-0,76	0,61	-0,41	0,99	-0,75	0,61	-0,41
Ранг по сумме рейтинговых баллов		-0,35	0,40	-0,77	0,97	-0,35	0,40
ПЦст по Р2024			-0,80	0,50	-0,29	1,00	-0,80
Ранг по ПЦстР2024				-0,32	0,28	-0,80	1,00
Сумма пунктов КТР					-0,78	0,50	-0,32
Ранг по сумме пунктов КТР						-0,29	0,28
ПЦст по КТР							-0,80
Ранг по ПЦстКТР							0

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Скаковая результативность лошади представляет собой комплексный показатель, формируемый под влиянием совокупности факторов: генетического потенциала, физиологического статуса, качества тренировочного процесса и условий внешней среды. Достижения современной науки в области коневодства и ветеринарной медицины создают основу для разработки целевых стратегий по реализации скакового потенциала лошади.

В исследованиях других ученых было показано, что резвость и доля призовых мест [20–22] не могут в полной мере характеризовать индивидуальную работоспособность лошади и потому не могут служить для оценки племенной ценности пробанда и его предков, а показатель «скаковой класс» (доля призовых мест в разных скачках) служит скорее для характеристики группы [8]. В нашем исследовании мы характеризовали работоспособность лошади с помощью двух недискретных показателей. Общим является наблюдение, что выраженная через изученные характеристики оценка работоспособности достаточно надежно позволяет оценить ипподромные перспективы лошади в 2-летнем возрасте и прогнозировать успех в дальнейшем. Это делает возможным обсудить введение своего рода гандикапирования: распределения в 3-летнем возрасте лошадей по группам работоспособности, чтобы повысить зрелищность ипподромного спорта [22]. С другой стороны, при рассмотрении скачек как формы испытаний, оценка в двухлетнем возрасте приобретает важное прогностическое значение для характеристики работоспособности лошади и может служить аргументом при принятии предварительных решений о включении лошади в племенной состав.

В то же время показатели КТР и Р2024 имеют свои плюсы и минусы. Так, учет каждого отдельного старта по относительному занятому месту (КТР) позволит отследить динамику работоспособности в течение сезона, в то время как годовой рейтинг характеризует успешность сезона в целом [21]. Высокий уровень среднего КТР за сезон свидетельствует о том, что лошадь последовательно занимала высокие места, в то время как высший годовой рейтинг может быть достигнут за счет одного-двух удачных стартов в высоко котируемых скачках. Кроме того, суммарный рейтинг рассчитывается по всем стартам, и лошадь, которая стартовала 20 раз, имеет математическое преимущество перед талантливой лошадью, которая стартовала 5 раз и имела большее число побед. Средний КТР за сезон позволяет нивелировать этот дисбаланс и сравнивать лошадей более корректно.

Отсутствие в формуле КТР параметра «количество стартовавших» является осознанным преимуществом, так как указанные данные часто недоступны ретроспективно, а их интерпретация (учет снятых/дисквалифицированных лошадей) неоднозначна.

С другой стороны, использование относительного места по одному-двум выступлениям может привести к ошибочным выводам, поскольку один проигрыш или случайная победа среди слабых соперников не должны быть определяющими в оценке лошади.

Комбинация показателей, привязанных к КТР (максимальный КТР в сезоне, характеризующий пик работоспособности; коэффициент вариации КТР, свидетельствующий о стабильности лошади; динамика КТР в течение сезона) дает более объемное представление о работоспособности лошади.

Таким образом, годовой рейтинг по баллам Р2024 является хорошим итоговым показателем, наглядным для участников ипподромной деятельности, в то время как КТР может быть использован как аналитический инструмент для тренеров, селекционеров и владельцев. Эти показатели не исключают, а дополняют друг друга.

Использование КТР для оценки скаковой работоспособности лошадей является более предсказуемым и надежным по сравнению с рейтинговыми баллами Р2024, особенно при анализе повторяемости результатов между возрастными группами, что важно для селекционной работы и формирования рейтингов жеребцов-производителей. Недискретность обоих показателей позволяет использовать их для расчета абсолютной и относительной племенной ценности самих животных и оценки производителей по качеству потомства.

При сохранении парадигмы определения комплексного класса животного по итогам бонитировки целесообразно разработать и предложить шкалу перевода КТР по возрастным группам в бонитировочные баллы за работоспособность, но это затруднительно сделать для рейтинговых пунктов Р2024, поскольку календарь скачек редко известен до начала сезона, так что калибровка шкалы перевода рейтинговых баллов в бонитировочные на обозримый период представляет сложность. В случае перехода на индексную систему оценки племенной ценности указанные показатели могут использоваться в линейных моделях напрямую [24–26].

ВЫВОДЫ

1. Проведена апробация новых характеристик скаковой работоспособности на примере лошадей арабской чистокровной породы – Р2024 (сумма рейтинговых баллов за сезон по версии 2024 г.) и КТР (скорректированный трансформированный ранг). Высокая корреляция между ними ($r = 0,98$) подтверждает возможность их взаимодополняющего использования.

2. Указанные показатели могут использоваться в комплексной системе оценки скаковой работоспособности арабских чистокровных лошадей: Р2024 – для итоговой оценки успешности; КТР – для анализа стабильности и динамики выступлений и использования в системе оценки племенной ценности.

3. Показатели КТР и Р2024 в двухлетнем возрасте позволяют достаточно надежно прогнозировать успешность лошади в трехлетнем возрасте, при этом коэффициент повторяемости для КТР существенно выше, чем для Р2024 (0,24 против 0,16). Лошади, показавшие низкие результаты в два года, сохраняют низкую результативность в три года, что подтверждает надежность ранней оценки.

4. Показатели КТР и Р2024 характеризуются умеренной наследуемостью ($h^2 = 0,18 \dots 0,40$), однако это позволяет вести целенаправленную селекцию в сторону повышения скаковой работоспособности в российской популяции арабской породы.

5. Оценка жеребцов-производителей выявила улучшателей и ухудшателей на основе расчета абсолютной и относительной племенной ценности (АПЦ и ОПЦ) по обоим показателям. При этом КТР следует признать предпочтительным для внедрения в систему племенной работы, так как он обеспечивает наиболее надежное прогнозирование и воспроизводимое ранжирование животных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Правила и нормы в области племенного животноводства «Методика проверки и оценки племенных лошадей рысистых пород на ипподромах Российской Федерации»*, утв. приказом Министерства сельского хозяйства РФ от 01.12.2022 № 843.
2. *Прогнозирование спортивной работоспособности русских верховых лошадей в раннем возрасте* / Б.Д. Камбегов, В.А. Демин, М.А. Политова [и др.] // Аграрная наука. – 2009. – № 12. – С. 20–22.
3. *Политова М.А., Демин В.А., Черногар И.В.* Новая методика оценки работоспособности молодняка верховых пород лошадей спортивного направления // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 2(71). – С. 242–250.

4. *Оценка наследственных качеств быков-производителей по молочной продуктивности их дочерей-первотелок за укороченный период лактации* / М.А. Смольянинов, З.Т. Афиногенова, В.В. Алифенов [и др.] // Материалы в помощь сельскохозяйственному производству: сб. статей. – Воронеж, 1978. – Т. 5, № III. – С. 14–16.
5. *Bruns E. Estimation of the breeding value of stallions from the tournament performance of their offspring* // *Livestock Production Science*. – 1981. – Vol. 8, № 5. – P. 465–473.
6. *Sabbagh M., Dunvy K. Genetic and performance horse indices* // *Equipedia of Institut Francais du cheval et de l'equitation*. – 2018.
7. *Estimating variance components and predicting breeding values for eventing disciplines and grades in sport horses* / I.D. Stewart [et al.] // *Animal*. – 2012. – Vol. 6, № 9. – P. 1377–1388.
8. *Шемарыкин А.Е., Халилов Р.А., Королева Г.В. Работоспособность лошадей чистокровной арабской породы* // *Коневодство и конный спорт*. – 2022. – № 6. – С. 9–12.
9. *Инструкция по бонитировке племенных лошадей заводских пород (СССР). Государственная комиссия Совета министров СССР по продовольствию и закупкам*. 1990.
10. *Верденберг Е.В., Акимова А.В. Таблица подсчета рейтинга на скачках (апробация). Российская ассоциация коннозаводчиков арабской породы*, 2024.
11. *Политова М.А., Дорофеева А.В. Сравнительная характеристика методик оценки спортивной работоспособности лошадей по результатам выступлений в выездке* // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2021. – № 1 (62). – С. 146–154.
12. *Политова М.А., Демин В.А. Сравнительная характеристика работоспособности лошадей орловской рысистой, буденновской и русской верховой породы в соревнованиях по выездке и ряд факторов, ее определяющих* // *Зоотехния*. – 2022. – № 8. – С. 34–37.
13. *Система оценки племенной (генетической) ценности лошадей разводимых в Республике пород* / М.А. Горбуков, Ю.И. Герман, В.И. Чавлытко [и др.]. – Жодино, 2017. – 19 с.
14. *Политова М.А. К вопросу об оценке племенной ценности жеребцов по результатам выступлений потомства в спорте на примере русской верховой породы лошадей* // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2025. – №. 8(158). – DOI: 10.60797/IR1.2025.158.11.
15. *Шемарыкин А.Е., Королева Г.В. О работе селекционного центра по арабской чистокровной породе ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства»* // *Коневодство и конный спорт*. – 2024. – № 4. – С. 11–13.
16. *Акимова А.В. Оценка жеребцов-производителей чистокровной верховой породы по собственной работоспособности и качеству потомства* // *Наука молодых – агропромышленному комплексу: сб. ст. Междунар. науч. конф. молодых ученых и специалистов, Москва, 1–3 июня 2016 г.* – М., 2016. – С. 142–144.
17. *Надеева Н.С. Оценка племенных качеств жеребцов-производителей чистокровной верховой породы по показателям работоспособности потомства: дис. ... канд. с.-х. наук.* – М., 2008. – 214 с.
18. *Устьянцева А.В. Сравнение методов оценки племенной ценности жеребцов-производителей ахалтекинской породы по работоспособности приплода в гладких скачках* // *Тенденции развития современного естествознания и технических наук: сб. науч. тр. по мат-м Междунар. науч.-практ. конф. В 2-х ч., Белгород, 30 окт. 2017 г.* – Белгород, 2017. – Ч. I. – С. 95–99.
19. *Tavernier A. Advantages of BLUP animal model for breeding value estimation in horses* // *Livestock Production Science*. – 1988. – Vol. 20, № 2. – С. 149–160.
20. *Петриченко О.В. Сравнительная оценка линий и семейств лошадей арабской чистокровной породы по промерам статей тела и работоспособности: дис. ... канд. с.-х. наук.* – М., 2009. – 187 с.
21. *The Genetics of Racing Performance in Arabian Horses* / K. Ropka-Molik, M. Stefaniuk-Szmukier, A.D. Musial [et al.] // *International Journal of Genomics*. – 2019. – Vol. 2019. – Artical ID 9013239. – DOI: 10.1155/2019/9013239.
22. *Sobczyńska M. Genetic parameters of racing performance indices in Polish Arabian horses* // *Livestock Science*. – 2010. – Vol. 131, № 2–3. – P. 245–249.
23. *Сравнительный анализ спортивной работоспособности молодых лошадей белорусской и российской селекции* / М.А. Политова, А.Н. Рудак, О.В. Рачикова [и др.] // *Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. тр.* – Гродно, 2024. – Т. 66. – С. 119–129.
24. *Герман Ю.И., Шейко И.П. Оценка племенной ценности лошадей ганноверской и тракененской пород* // *Доклады национальной академии наук Республики Беларусь*. – 2017. – Т. 61, № 2. – С. 105–113.
25. *Хайнацкий В.Ю. Метод племенной оценки быков-производителей мясных пород на основе BLUP* // *Животноводство и кормопроизводство*. – 2021. – Т. 104, № 1. – С. 20–30.
26. *Решение коллегии № 149 «Об утверждении методик оценки племенной ценности сельскохозяйственных животных в государствах – членах Евразийского экономического союза»*. Коллегия ЕАЭК, 2020.

REFERENCES

1. *Pravila i normy v oblasti plemennogo zivotnovodstva "Metodika proverki i otsenki plemennykh loshadei rysistyk porod na ippodromakh Rossiiskoi Federatsii"* [Rules and regulations in the field of breeding animal husbandry "Methodology for testing and evaluating breeding trotting horses at the racetracks of the Russian Federation"], Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Order No. 843, 2022. (In Russ.).
2. B.D. Kambegov, V.A. Demin, M.A. Politova [i dr.], *Agrarnaya nauka*, 2009, No. 12, pp. 20–22. (In Russ.).
3. Politova M.A., Demin V.A., Chernogar I.V., *Vestnik of the Novosibirsk State Agrarian University*, 2024, No. 2, pp. 242–250. (In Russ.).
4. Smolyaninov M.A., Afinogenova Z.T., Alifinov V.V. [i dr.], *Materialy v pomoshch sel'skokhozyaistvennomu proizvodstvu*, Voronezh, 1978, T. 5, No. III, pp. 14–16. (In Russ.).
5. Bruns E., Estimation of the breeding value of stallions from the tournament performance of their offspring, *Livestock Production Science*, 1981, Vol. 8, No. 5, pp. 465–473.
6. Sabbagh M., Dunvy K., Genetic and performance horse indices, *Equipedia of Institut Francais du cheval et de l'equitation*, 2018.
7. Stewart I.D., et al., Estimating variance components and predicting breeding values for eventing disciplines and grades in sport horses, *Animal*, 2012, Vol. 6, No. 9, pp. 1377–1388.
8. Shemarykin A.E., Khalilov R.A., Koroleva G.V., *Konevodstvo i konnyi sport*, 2022, No. 6, pp. 9–12. (In Russ.).
9. *Instruktsiia po bonitirovke plemennykh loshadei zavodskikh porod (SSSR)* (Instruction for the grading of breeding horses of factory breeds (USSR)), 1990. (In Russ.).
10. Verdenberg E.V., Akimova A.V., *Tablitsa podscheta reitinga na skachkakh (aprobatsiia)* (Table for calculating race ratings (approbation)), Rossiiskaia Assotsiatsiia Konnozavodchikov Arabskoi Porody, 2024. (In Russ.).
11. Politova M.A., Dorofeeva A.V., *Izvestiia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 1(62), pp. 146–154. (In Russ.).
12. Politova M.A., Demin V.A., *Zootekhniia*, (2022), No. 8, pp. 34–37. (In Russ.).
13. Gorbukov M.A., German Yu.I., Chavlytko V.I. [i dr.], *Sistema otsenki plemennoi (geneticheskoi) tsennosti loshadei, razvodimykh porod v Respublike* [System for assessing the breeding (genetic) value of horses of breeds bred in the Republic], Zhodino, 2017, 19 p. (In Russ.).
14. Politova M.A., *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2025, No. 8 (158), DOI: 10.60797/IR1.2025.158.11. (In Russ.).
15. Shemarykin A.E., Koroleva G.V., *Konevodstvo i konnyi sport*, 2024, No. 4, pp. 11–13. (In Russ.).
16. Akimova A.V., *Nauka molodykh – agropromyshlennomu kompleksu* (Science of the young for the agro-industrial complex), Collection of articles of the International scientific conference of young scientists and specialists, 2016, pp. 142–144. (In Russ.).
17. Nadeeva N.S., *Otsenka plemennykh kachestv zherebtsov-proizvoditelei chistokrovnoi verkhovoi porody po pokazateliam rabotosposobnosti potomstva* (Evaluation of the breeding qualities of Thoroughbred stallions based on the performance indicators of their offspring), Candidate's thesis, Moscow, 2008, 214 p. (In Russ.).
18. Ustiantseva A.V., *Tendentsii razvitiia sovremennogo estestvoznaniia i tekhnicheskikh nauk* (Trends in the development of modern natural and technical sciences), Collection of scientific papers, Belgorod, 2017, Vol. 1, pp. 95–99. (In Russ.).
19. Tavernier A., Advantages of BLUP animal model for breeding value estimation in horses, *Livestock Production Science*, 1988, Vol. 20, No. 2, pp. 149–160.
20. Petrichenko O.V., *Sravnitel'naia otsenka linii i semeistv loshadei arabskoi chistokrovnoi porody po promeram statei tela i rabotosposobnosti* (Comparative assessment of lines and families of purebred Arabian horses based on body measurements and performance), Candidate's thesis, Moscow, 2009, 187 p. (In Russ.).
21. Ropka-Molik K., Stefaniuk-Szmukier M., Musial A.D. [et al.], The Genetics of Racing Performance in Arabian Horses, *International Journal of Genomics*, 2019, Vol. 2019, Article ID 9013239, DOI: 10.1155/2019/9013239.
22. Sobczyńska M., Genetic parameters of racing performance indices in Polish Arabian horses, *Livestock Science*, 2010, Vol. 131, No. 2–3, pp. 245–249.
23. Politova M.A., Rudak A.N., Rachikova O.V. [i dr.], *Sel'skoe khoziaistvo - problemy i perspektivy (Agriculture - problems and prospects)*, Collection of scientific papers, Grodno, 2024, Vol. 66, pp. 119–129. (In Russ.).
24. German Iu.I., Sheiko I.P., *Doklady natsional'noi akademii nauk Respubliki Belarus*, 2017, Vol. 61, No. 2, pp. 105–113. (In Russ.).
25. Khainatskii V.Iu., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2021, Vol. 104, No. 1, pp. 20–30. (In Russ.).
26. *Reshenie Kollegii № 149 «Ob utverzhdenii metodik otsenki plemennoi tsennosti sel'skokhozyaistvennykh zhyvotnykh v gosudarstvakh – chlenakh Evraziiskogo ekonomicheskogo soiuza»* (Decision of the Board No. 149 "On approval of methodologies for assessing the breeding value of farm animals in the member states of the Eurasian Economic Union"), Kollegiia EAĖK, 2020. (In Russ.).

Информация об авторах:

М.А. Политова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории мясного ФГБНУ ВНИИ племенного дела

А.В. Акимова, кандидат сельскохозяйственных наук, начальник производственного отдела ООО «НАСИБ» (Пятигорский ипподром)

Е.В. Верденберг, зоотехник по племенному учету, АО «Терский племенной конный завод № 169»

Contribution of the authors:

M.A. Politova, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Beef Cattle Breeding, All-Russian Research Institute of Breeding (FGBNU VNIIPlem)

A.V. Akimova, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Production Department, NASIB LLC (Pyatigorsk Hippodrome)

E.V. Werdenberg, Zootechnician for Breeding Records, Tersky Stud Farm No. 169 JSC

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТА «БИОСТИЛ», ПРИМЕНЯЕМОГО С ЦЕЛЬЮ СТИМУЛЯЦИИ ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ АМЕРИКАНСКИХ НОРОК РАЗНОГО ТИПА ПОВЕДЕНИЯ, НА МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕЧЕНИ И ПОЧЕК ИХ ПОТОМСТВА

¹О.В. Распутина, ¹Е.А. Сысоева, ²О.В. Трапезов, ¹Е.И. Земляничная, ¹И.В. Наумкин

¹Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, Новосибирск, Россия

²Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: raspulinaov@mail.ru

Для цитирования: Влияние препарата «Биостил», применяемого с целью стимуляции воспроизводительной функции американских норок разного типа поведения, на морфологическое состояние печени и почек их потомства / О.В. Распутина, Е.А. Сысоева, О.В. Трапезов, Е.И. Земляничная, И.В. Наумкин // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 140–149. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-140-149.

Реферат. В статье представлены результаты исследований морфологических особенностей печени и почек молодняка американской норки генотипа Standard dark brown ручного и агрессивного типов поведения, родителям которых вводили в рацион препарат «Биостил» с целью стимуляции репродуктивной функции. «Биостил» относится к группе общестимулирующих препаратов, адаптоген. В ветеринарии и животноводстве применяется с целью стимуляции среднесуточных приростов, повышения сохранности молодняка сельскохозяйственных животных. В птицеводстве – для повышения жизнеспособности цыплят-бройлеров и яйценоскости кур-несушек. Объектом исследования служили самцы и самки американской норки клеточного разведения в возрасте шести месяцев разного типа поведения ($n = 36$), которые были разделены на опытные и контрольные группы в зависимости от дозы, которую получали их родители в период технологического гона: 1-я опытная – доза «Биостила» 0,05 мл/кг массы тела; 2-я опытная – 0,025 мл/кг массы тела; контрольные группы. Предмет исследования – морфологическое состояние органов (печень, почки). Научные исследования проводились в ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ на кафедре анатомии и физиологии и экспериментальной звероводческой ферме Института цитологии и генетики СО РАН. Гистологические исследования проводили классическим методом. Биологический материал фиксировали 10%-м нейтральным забуференным раствором формалина. Гистологические срезы толщиной 4–6 мкм окрашивали гематоксилином и эозином. При микроскопическом исследовании печени выявлены признаки гидропической и жировой дистрофии гепатоцитов, лимфоидно-гистиоцитарные инфильтраты в портальных трактах и паренхиме, участки фокального некроза. При гистологическом исследовании почек обнаружены гидропическая, вакуольная дистрофия и некробиоз канальцевого эпителия, минерализация собирательных трубочек, гломерулосклероз. У агрессивных норок 2-й опытной группы, родители которых получали «Биостил» в минимальной дозе – 0,025 мл/кг массы тела, патологические процессы были менее выраженными: в печени характеризовались гидропической и жировой дистрофией гепатоцитов, в почках патологические изменения ограничивались канальцевым аппаратом.

Ключевые слова: американская норка, генотип Standard dark brown, тип поведения, «Биостил», патогистологические изменения.

INFLUENCE OF BIOSTEEL USED TO STIMULATE THE REPRODUCTIVE FUNCTION OF AMERICAN MINKS OF DIFFERENT TYPES OF BEHAVIOR, ON THE MORPHOLOGICAL STATE OF THE LIVER AND KIDNEYS OF THEIR OFFSPRING

¹O.V. Rasputina, ¹E.A. Sysoeva, ²O.V. Trapezov, ¹E.I. Zemlynitskaya, ¹I.V. Naumkin

¹Siberian State University of Engineering and Biotechnology, Novosibirsk, Russia

²Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

E-mail: raspulinaov@mail.ru

Abstract. The article presents the results of studies of the morphological features of the liver and kidneys of young American mink of the Standard dark brown genotype of tame and aggressive behavior types, whose parents were given Biostil in their diet to stimulate reproductive function. Biostil belongs to the group of general stimulants, an adaptogen. In veterinary medicine and animal husbandry, it is used to stimulate average daily gains and improve the survival rate of young farm animals. In poultry farming, it is used to improve the viability of broiler chickens and egg production of laying hens. The object of the study were 6-month-old male and female American minks of different behavior types ($n = 36$), which were divided into experimental and control groups

depending on the dose received by their parents during the technological rut: 1st experimental group - Biostil dose of 0.05 ml/ kg body weight; 2nd experimental group – 0.025 ml/kg body weight; control groups. The subject of the study is the morphological state of organs (liver, kidneys). Scientific research was conducted at the Novosibirsk State Agrarian University, Department of Anatomy and Physiology and Experimental Fur Farm, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Histological studies were performed using the classical method. Biological material was fixed with 10% neutral buffered formalin solution. Histological sections 4–6 μm thick were stained with hematoxylin and eosin. Microscopic examination of the liver revealed signs of hydropic and fatty degeneration of hepatocytes, lymphoid-histiocytic infiltrates in the portal tracts and parenchyma, and areas of focal necrosis. Histological examination of the kidneys revealed hydropic, vacuolar degeneration and necrobiosis of the tubular epithelium, mineralization of the collecting ducts, and glomerulosclerosis. In aggressive minks of the 2nd experimental group, whose parents received Biostil in a minimum dose of 0.025 ml/kg of body weight, pathological processes were less pronounced: in the liver, they were characterized by hydropic and fatty degeneration of hepatocytes, while in the kidneys, pathological changes were limited to the tubular apparatus.

Keywords: American mink, Standard dark brown genotype, behavior type, «Biostil», histopathological changes.

Определяющее значение при изучении вопросов особенностей биологии американских норок и их domestikации имеет морфологический статус, исследованию которого посвящено незначительное количество научных работ. Особенно это касается вопросов, связанных с изучением структурно-функциональных изменений в органах с учетом разных факторов: в зависимости от генотипических, половозрастных особенностей, типа поведения, влияния фармакологического фактора. Дальнейшей разработке этого направления посвящена представленная научно-исследовательская работа.

На базе звероводческой фермы Института цитологии и генетики СО РАН (ИЦиГ СО РАН), где проводились исследования, созданы две популяции американских норок с ручным и агрессивным поведением [1]. Животные, обладающие разным типом поведения, имеют морфологические и физиологические особенности: у domestikцированных норок по сравнению дикими сократился размер мозга, уменьшилась относительная масса некоторых внутренних органов [2, 3], изменились размеры тела и формы черепа [3, 4], улучшились показатели воспроизводства [1], меховой покров у агрессивных животных в сравнении с ручными характеризуется гиперпигментацией [1, 2].

При описании структурных особенностей печени и почек американской норки приводятся данные о топографии, абсолютной и относительной массе, гистологических особенностях [2, 5, 6]. Имеются данные о морфологии печени норок генотипов *Standard dark brown*, *Sapphire* и *Lavender* в разные возрастные периоды [7, 8].

Для успешного проведения научных исследований в условиях специализированных хозяйств необходимо учитывать нозологический профиль заболеваний и проблемы, связанные с репродукцией племенного стада. В условиях клеточного содержания наиболее распространенной патологией у молодняка норок является гепатоз и мочекаменная болезнь [9–12]. Мочекаменная болезнь в большинстве случаев сочетается с широко распространенным жировым гепатозом и характеризуется интерстициальным нефритом, хроническим тубулонефрозом, продуктивным гломерулосклерозом [13].

Один из этиологических факторов указанных патологий, определяемый как несбалансированное и недоброкачественное кормление, по мнению многих исследователей, является и первопричиной снижения репродуктивной способности норок [14, 15].

В связи с этим важное значение имеет создание для пушных зверей в условиях промышленного разведения оптимальных условий содержания и полнорационное кормление с использованием биологически активных веществ [12, 15].

В ветеринарии и животноводстве с целью повышения жизнеспособности и устойчивости организма к неблагоприятным факторам окружающей среды, улучшения показателей воспроизводства, сохранности, роста и развития молодняка применяется биологически активный препарат «Биостил» [16–18]. Препарат обладает антиоксидантными свойствами, экологически безопасен [19]. В звероводстве получены положительные результаты при использовании его норкам генотипа *Standard dark brown* с целью повышения репродукции и жизнеспособности приплода. Отмечены особенности действия препарата в зависимости от генотипа, типа поведения и дозы. Определено влияние на структуру тимуса потомства норок разного возраста [20–22].

Таким образом, анатомо-гистологические особенности печени и почек у норок при введении лекарственных средств изучены недостаточно. Отсутствуют данные об отдаленном воздействии

лекарственных средств, применяемых взрослым особям в разные физиологические периоды, на морфологию органов их потомства.

Цель исследований – морфологический анализ паренхиматозных органов (печени, почек) молодняка американских норок, родителям которых с целью стимуляции репродуктивной функции вводили в рацион препарат «Биостил».

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены на кафедре анатомии и физиологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ и на базе зверофермы сектора «Генетика кунных» ЦКП «Генофонды пушных и сельскохозяйственных животных» ИЦиГ СО РАН.

Объектом исследования являлось потомство американских норок генотипа *Standard dark brown* (+/+) агрессивного и ручного типов поведения, 6-месячного возраста, родители которых с целью стимуляции воспроизводительной функции получали в составе рациона препарат «Биостил».

Предметом настоящего исследования явилось морфологическое состояние печени и почек потомства норок.

В работе использовались классические анатомические и гистологические методы с формированием потомства норок в опытные и контрольные группы с учетом типа поведения, половой принадлежности и дозы препарата, получаемой родителями перед началом технологического гона и в период его проведения. Всего сформировано шесть групп животных (каждая группа включала самцов и самок) с ручным типом поведения и такое же количество с агрессивным поведением (таблица).

Потомство американских норок *Standard dark brown* (+/+), используемое в научных исследованиях
Offspring of American *Standard dark brown* (+/+) minks used in scientific research

Тип поведения	Группа	Доза препарата, получаемая родителями перед технологическим гоним и в период его проведения
Ручные (<i>n</i> = 18)	1-я опытная	0,05 мл/кг массы тела
	2-я опытная	0,025 мл/кг массы тела
	Контрольная группа	
Агрессивные (<i>n</i> = 18)	1-я опытная	0,05 мл/кг массы тела
	2-я опытная	0,025 мл/кг массы тела
	Контрольная группа	

Материал для морфологических исследований отбирали в период технологического убоя норок, проводимого на звероферме ИЦиГ СО РАН.

При вскрытии норок определяли послеубойную массу тушки вместе со шкуркой, абсолютную и относительную массу печени и почек, их топографию и анатомические особенности.

Для проведения гистологических исследований фрагменты органов (правая медиальная доля печени, почки) фиксировали в 10%-м нейтральном забуференном растворе формалина. Гистологические срезы толщиной 4–6 мкм готовили классическим способом. Окрасивание срезов проводили гематоксилином и эозином.

При микроскопическом исследовании печени и почек, полученных от ручных и агрессивных животных контрольных и опытных групп, оценивали изменения структуры органов.

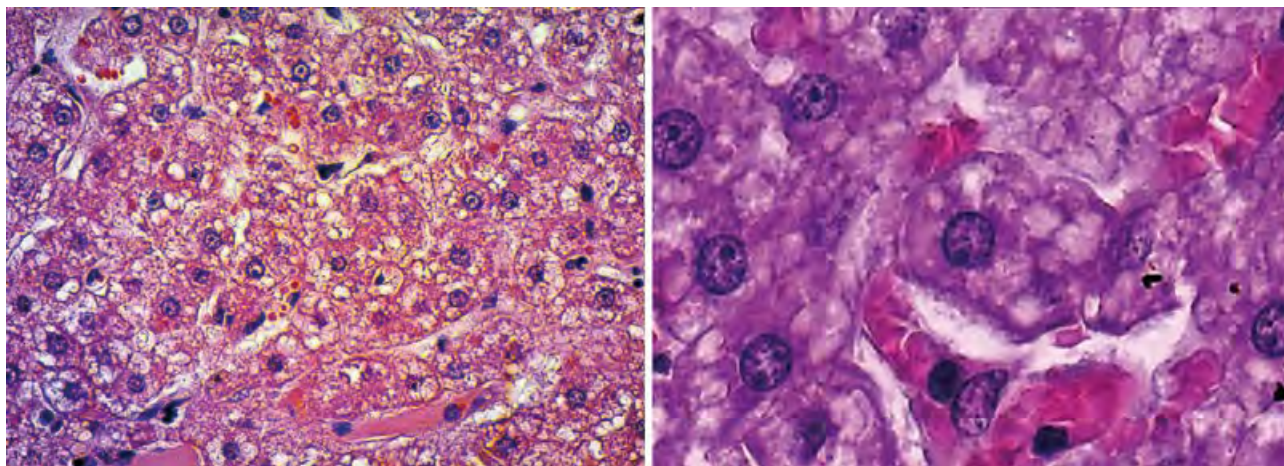
Гистологический анализ и морфометрические исследования проводили с помощью светового микроскопа Zeiss Primo Star (ок. x10, об. x4, x10, x100) на базе программного обеспечения ZEN 3.1 и цифрового сканера PANNORAMIC Desk II DW.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Печень (*hepar*) у норок располагается в брюшной полости, за диафрагмой. Макрокартина органа имеет сходство с другими представителями отряда хищных. Глубокими вырезками орган разделен на шесть долей: левая латеральная и медиальная, хвостатая, квадратная, правая латеральная и медиальная. Междольевые вырезки доходят до ворот печени. Макроскопическая характеристика органа соответствовала норме.

При гистологическом исследовании печени установлено, что рисунок мелкодольчатого строения не выражен из-за слабого развития соединительнотканного остова, что характерно для представителей отряда хищников. Балочное, радиальное расположение гепатоцитов и межклеточные границы определяются. Гепатоциты имеют многоугольную форму, округлое ядро небольших размеров, расположенное в центре клетки. На периферии долек, в междольковой соединительной ткани, находятся триады, образованные междольковыми артерией, веней и желчным протоком. Синусоиды кровенаполнены.

Патологические изменения паренхимы и стромы печени разной степени выраженности были обнаружены у всех исследованных животных. Основные изменения характеризовались гидропической и жировой дистрофией гепатоцитов, лимфоидно-гистиоцитарной инфильтрацией портальных трактов и паренхимы (рис. 1).



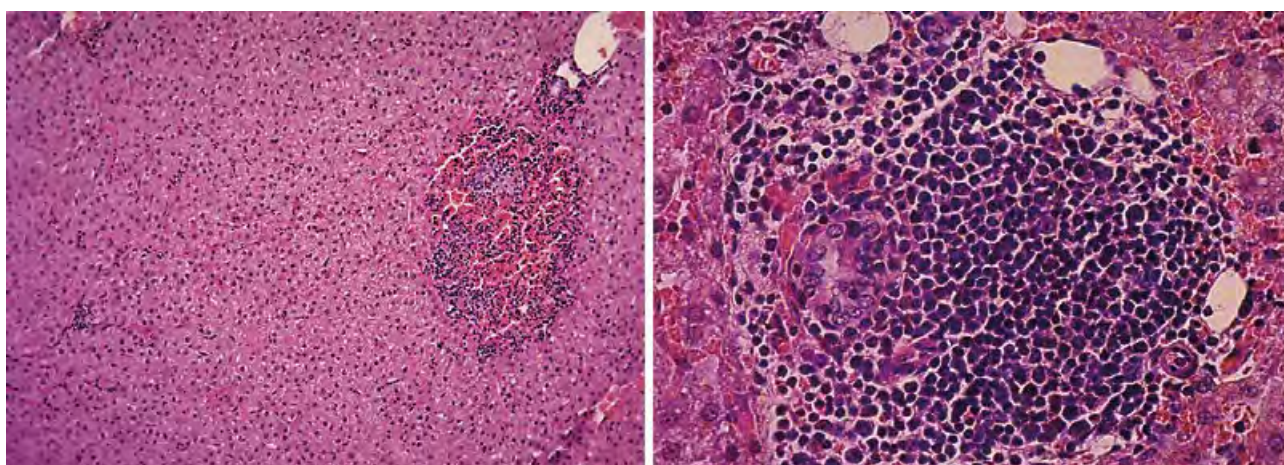
a

б

Рис. 1. Гидропическая и жировая дистрофия гепатоцитов: *a* – ручные самцы контрольной группы. Гематоксилин и эозин. Об. 10, ок. 40; *б* – Ув. x 2626

Hydropic and fatty degeneration of hepatocytes: *a* – tame males of the control group. Hematoxylin and eosin. Lens 10, approx. 40; *b* – Magnification x 2626

Выраженные дистрофические изменения гепатоцитов у ручных самок контрольной группы сопровождались участками некроза в дольке и крупными лимфоидно-гистиоцитарными инфильтратами в портальных трактах (рис. 2).



a

б

Рис. 2. Дольковый очаговый некроз гепатоцитов и портальный инфильтрат в печени потомства ручных самок контрольной группы: *a* – гематоксилин и эозин. Об. 10, ок. 10; *б* – об 10, ок. 40

Lobular focal necrosis of hepatocytes and portal infiltrate in the liver of the offspring of tame females of the control group: *a* – hematoxylin and eosin. Volume 10, approx. 10; *b* – volume 10, approx. 40

В печени агрессивных самцов и самок контрольной группы, ручных самцов и самок 1-й и 2-й опытных групп обнаружены подобные изменения. У агрессивных самцов и самок 1-й опытной группы наряду с дистрофическими изменениями гепатоцитов выявляли мелкие участки фокального некроза в дольке печени; у самок, кроме того, перипортальные инфильтраты.

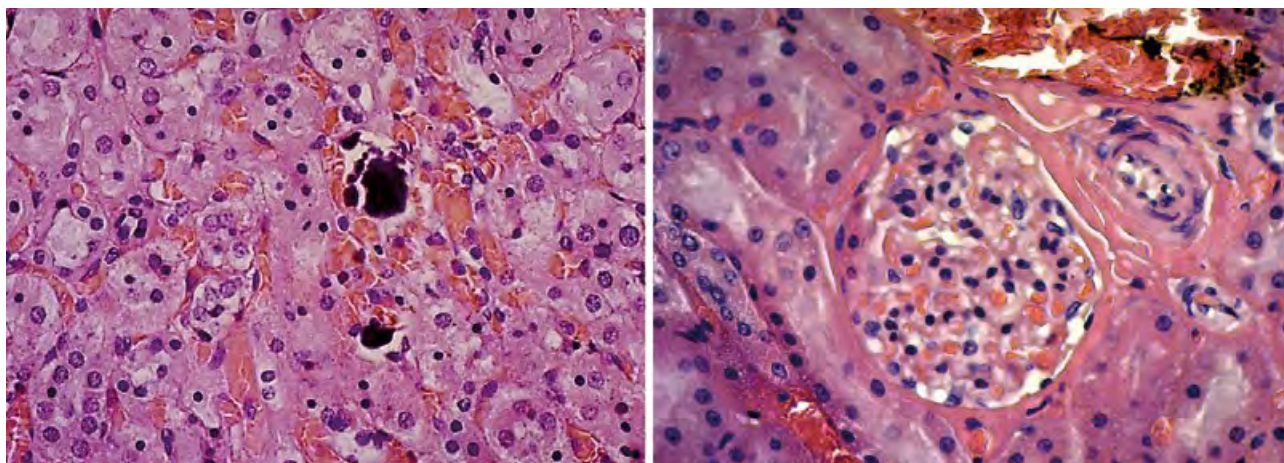
Сходные патологические изменения в печени норок описывают в своих работах [23, 24] и другие исследователи. Они также отмечают, что наряду с дистрофическими процессами могут развиваться и некротические изменения гепатоцитов.

Патологические изменения в печени агрессивных норок 2-й опытной группы, полученных от родителей, которым вводили в рацион минимальную дозу «Биостила» (0,025 мл/кг массы тела), протекали в более легкой форме и не сопровождались инфильтративными и некротическими процессами.

Почки (*ren*) исследуемых животных бобовидной формы, гладкие однососочковые, располагаются в поясничной области. Правая почка лежит краниальнее, на уровне 1–2-го – 2–3-го поясничного позвонка: левая – 2–3-го – 4–5-го.

При гистологическом исследовании почек у норок изучаемых групп были выявлены патологические изменения на уровне канальцевого и клубочкового аппарата. В большинстве случаев обнаруживали вакуольную, гидропическую дистрофию эпителия проксимальных и дистальных канальцев, минерализацию собирательных трубочек, гломерулосклероз и перигломерулярный склероз, интерстициальную воспалительно-клеточную инфильтрацию, белковые цилиндры в почечных канальцах.

У ручных самцов и самок контрольной группы выявляли вакуольную дистрофию эпителия канальцев проксимального и дистального отдела, наличие в них гиалиновых цилиндров, минерализацию собирательных трубочек, гломерулосклероз; у самок, наряду с этим, лимфоидно-гистиоцитарные инфильтраты в корковой зоне почек (рис. 3).



a

б

Рис. 3. Патогистологические изменения канальцевого и клубочкового аппарата почек ручных самцов контрольной группы: *a*) зернистая и гидропическая дистрофия эпителия канальцев. Минерализация собирательных трубочек; *б*) Экстракапиллярный продуктивный гломерулосклероз. Гематоксилин и эозин. Об. 10, ок. 40

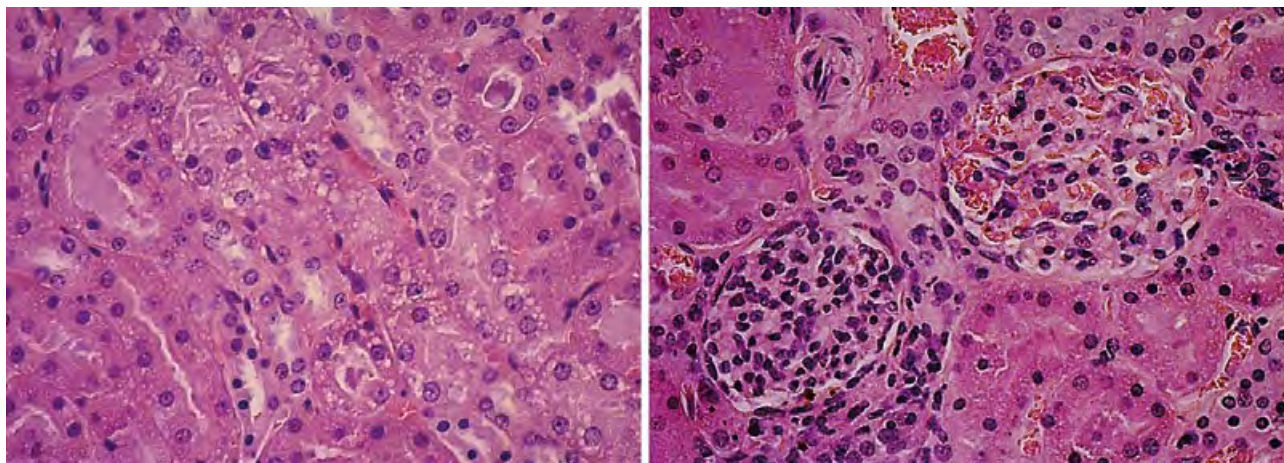
Pathohistological changes in the tubular and glomerular apparatus of renal males of the control group: *a*) Granular and hydropic dystrophy of the tubular epithelium. Mineralization of collecting ducts; *b*) Extracapillary productive glomerulosclerosis. Hematoxylin and eosin. Lens 10, approx. 40

У норок агрессивного поведения в контрольных группах были ярко выражены изменения канальцевого аппарата: гидропическая дистрофия эпителиоцитов, минерализация собирательных трубочек, гиалиноз канальцев.

У ручных животных 1-й и 2-й опытных групп обнаружены дистрофические изменения канальцевого аппарата, минерализация собирательных трубочек, склеротические изменения отдельных клубочков, а у 2-й опытной группы наряду с этим обширные лимфоидно-гистиоцитарные инфильтраты в интерстиции (рис. 4).

У агрессивных животных 1-й опытной группы выявляются изменения, сходные с контрольной группой, а также начальная стадия гломерулосклероза.

Менее выраженные патогистологические изменения почек отмечены у агрессивных норок 2-й опытной группы: гидропическая дистрофия эпителия канальцев, минерализация собирательных трубочек.



a

б

Рис. 4. Патогистологические изменения канальцевого и клубочкового аппарата почек у ручных животных опытных групп: а) гидропическая, вакуольная дистрофия эпителия канальцев. Белковые цилиндры. Ручные самки 1-й опытной группы; б) склеротические изменения и атрофия клубочков у ручных самцов 2-й опытной группы. Гематоксилин и эозин. Об. 10 ок. 40

Pathohistological changes in the tubular and glomerular apparatus of the kidneys in tame animals of the experimental groups: *a*) hydropic, vacuolar dystrophy of the tubular epithelium. Protein casts. Tame females of the 1st experimental group; *b*) sclerotic changes and glomerular atrophy in tame males of the 2nd experimental group. Hematoxylin and eosin. Volume 10 approx. 40

Таким образом, у норок агрессивного типа поведения 2-й опытной группы (доза «Биостила» родителям 0,025 мл/кг массы тела) ярко выражены признаки тубуло-интерстициального нефрита, сопровождающегося минерализацией собирательных трубочек. В остальных группах патологический процесс в почках охватывает не только канальцевый аппарат, но и клубочковый, гистологически характеризуясь их фибротизацией и атрофией.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

У норок клеточного разведения, в том числе молодняка, значительное распространение имеют заболевания печени и почек, которые в большинстве случаев протекают одновременно. Патоморфологические изменения характеризуются дистрофическими поражениями разной степени выраженности. Значительную роль в этиологии этих заболеваний исследователи отводят низкой естественной резистентности организма американских норок [14, 24], в том числе нарушениям условий кормления и содержания.

В условиях адаптации организма к окружающим условиям нельзя не отметить значительную роль промышленной domestikации, которая обуславливает разную реакцию организма ручных и агрессивных норок на воздействие факторов среды обитания [1–4], к которым также можно отнести и фармакологический фактор.

Проведенными ранее исследованиями нами было показано, что на фоне применения препарата «Биостил» родительскому поголовью улучшились показатели воспроизводства, сохранность, рост и развитие молодняка. Была установлена зависимость этих показателей от дозы «Биостила» и типа поведения норок [21, 27]. Оказалось, что наиболее восприимчивы к препарату агрессивные животные, минимальная доза – 0,025 мл/кг массы тела сопровождалась наилучшими показателями воспроизводства норок и приводила к повышению сохранности и жизнеспособности потомства.

Патоморфологический анализ печени и почек у полученного потомства, представленный в данной статье, показывает, что дистрофические изменения в указанных органах отмечаются у животных всех групп, однако степень патологических изменений ниже у норок опытных групп по сравнению с контролем. При этом отмечена разница проявления этих изменений у ручных и агрессивных американских норок.

Степень патологических изменений в печени и почках потомства также зависела от дозы препарата, которую получали родительские пары в период гона. Результаты нашего исследования показали, что у агрессивного потомства на фоне дозы 0,025 мл/кг массы тела патологические изменения в печени и почках были менее выраженными.

Следует предположить, что особенность патогистологических изменений у норок разного типа поведения обусловлена тем, что агрессивные животные имеют более высокий потенциал адаптационно-компенсаторных механизмов. Известно, что процессы адаптации и компенсации не только обеспечивают выживание вида, но и качественное саморазвитие организма во внешней среде при воздействии факторов различной природы и происхождения [25].

Отличительная и своеобразная реакция родительского стада американских норок и их потомства на воздействие фармакологического фактора, которую достаточно сложно оценить, на наш взгляд, можно объяснить особенностями адаптационно-компенсаторных механизмов, находящихся в прямой зависимости от особенностей морфологии, функций, генетического аппарата и типа поведения американской норки.

ВЫВОДЫ

1. У молодняка американских норок в возрасте шести месяцев отмечены патогистологические изменения в печени (гидропическая и жировая дистрофия гепатоцитов, фокальный некроз, лимфоидно-гистиоцитарные инфильтраты в портальных трактах и паренхиме). Менее выраженные изменения, протекающие по типу гидропической и жировой дистрофии гепатоцитов, не сопровождающиеся инфильтративными и некротическими процессами, выявлены у агрессивных животных, родителям которых перед гоним и в период его проведения вводили в рацион биологически активный препарат «Биостил» в дозе 0,025 мл/кг массы тела.

2. При гистологическом исследовании почек молодняка американских норок были выявлены патологические изменения на уровне канальцевого и клубочкового аппарата (вакуольная дистрофия канальцевого эпителия, минерализация собирательных трубочек, гломерулосклероз). У молодняка агрессивного типа поведения, родителям которых перед гоним и в период его проведения вводили в рацион препарат «Биостил» в дозе 0,025 мл/кг массы тела, изменения в клубочковом аппарате почек отсутствовали.

3. Выявленная особенность дистрофических процессов указывает на взаимосвязь их развития от типа поведения и дозы препарата и на более слабое воздействие повреждающих факторов окружающей среды на структурно-функциональное состояние печени и почек потомства агрессивных норок, родителям которых в период технологического гона вводили в рацион «Биостил» в дозе 0,025 мл/кг массы тела.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трапезов О.В., Трапезова Л.И., Сергеев Е.Г. Влияние мутаций, затрагивающих окраску меха, на поведенческий полиморфизм в промышленных популяциях американской норки (*Mustela vison* Schreber, 1777) и соболя (*Mustela vison* L., 1758 // Генетика. – 2007. – № 37. – С. 516–523.
2. Федорова О.И. Доместикационные преобразования интерьерных признаков американских норок в ходе их промышленного разведения // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2013. – № 2. – С. 465–469.
3. How Selective Breeding Has Changed the Morphology of the American Mink (*Neovison vison*) – A Comparative Analysis of Farm and Feral Animals / A. Mucha, M. Zatoń-Dobrowolska, M. Moska [et al.] // Animals. – 2021. – Vol. 11(1). – P. 106. – DOI: 10.3390/ani11010106. PMID: 33430282; PMCID: PMC7825718.
4. Tamlin A.L., Bowman J., Hackett D.F. Separating wild from domestic American mink *Neovison vison* based on skull morphometrics // Wildlife Biology. – 2009. – Vol. 15(3). – P. 266–277.

5. *Ревякин И.М., Пугач Е.А.* Анатомо-топографические особенности внутренних органов клеточной американской норки // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины. – 2015. – Т. 51, вып. 1. – Ч. 1. – С. 122–125.
6. *Морфометрические* показатели внутренних органов норки сканблэк в условиях Северного Кавказа / А.А. Ходусов, М.Е. Пономарева, А.Н. Квочко [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 1. – С. 185–189.
7. *Гистологическая* структура печени американской норки различных окрасочных генотипов в период постнатального онтогенеза / М.Б. Исакова, О.В. Распутина, И.В. Наумкин // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2017. – № 1(42). – С. 154–159.
8. *Исакова М.Б., Распутина О.В., Наумкин И.В.* Морфологические особенности печени новорожденных норчат различных окрасочных генотипов в норме и под влиянием Биостила // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2016. – № 2(39). – С. 102–107.
9. *Берестов В.А.* Звероводство: учеб. пособие / В.А. Берестов. – СПб.: Лань, 2002. – 489 с.
10. *Ежков В.О.* О распространении гепатоза у пушных зверей семейства псовых в постнатальном онтогенезе / В. О. Ежков // Материалы XX научно-практической конференции Ижевской гос. с.-х. академии. – Ижевск, 2000. – С. 144–145.
11. *Квартникова Е.Г., Перминов П.М.* Эффективность использования препарата «Фервистим» в кормлении молодняка норок // Материалы Междунар. учеб.-метод. и науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию Моск. гос. акад. вет. медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина. – М., 2004. – С. 152–153.
12. *Кочуева Н.А., Бочкарев В.Н., Зотова А.С.* Эффективность гомеопатической терапии при болезнях печени норок // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2010. – № 2. – С. 30–33.
13. *Жавнис С.Э., Школа Т.С., Камышко В.Е.* Динамика биохимических и патогенетических изменений при мочекаменной болезни // Сб. тр. Международной науч.-производств. конф. по вопросам ветеринарии и животноводства Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 1998. – С. 174–175.
14. *Молькова А.А., Носырева Ю.Н.* Воспроизводительные способности и продуктивные качества норок при использовании кедровой муки. – Иркутск, 2017. – 120 с.
15. *Абрамов П.Н.* Структурно-функциональные адаптации в организме норки при нарушении белкового обмена: дис. ... д-ра биол. наук. – М., 2021. – 302 с.
16. *Распутина О.В., Наумкин И.В., Земляничная Е.И.* Использование «Биостила» в системе органического сельского хозяйства // Органическое сельское хозяйство и агротуризм: мат.-лы Междунар. науч.-практ. конф. «Агротуризм в России» в рамках междунар. тур. форума. – Улан-Удэ, 2014. – С. 103–108.
17. *Распутина О.В., Антипина С.А.* Сравнительная эффективность профилактического действия препаратов на основе оксиэтиламмония метилфеноксиацетата при заболеваниях новорожденных телят // Вопросы ветеринарной науки и практики: сб. тр. науч.-практ. конф. преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов факультета ветеринарной медицины Новосибирского государственного аграрного университета. – Новосибирск, 2022. – С. 65–69.
18. *Эффективность* применения «Биостила» в птицеводстве / О.В. Распутина, Л.В. Макаренко, М.Н. Скомарова [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – № 3. – С. 71–76.
19. *Распутина О.В.* Фармакологическая оценка и использование лекарственных средств на основе производных ароматических карбоновых кислот в ветеринарии и животноводстве. – Новосибирск, 2013. – 255 с.
20. *Земляничная Е.И., Распутина О.В., Наумкин И.В.* Применение Биостила в звероводстве // Актуальные вопросы ветеринарной медицины: мат.-лы XIV Сибирской ветеринарной конференции. – Новосибирск, 2015. – С. 45–47.
21. *Сысоева Е.А., Распутина О.В., Трапезов О.В.* Влияние фармакологического фактора на репродуктивную способность самок американских норок агрессивного типа поведения // Кролиководство и звероводство. 2023. – № 4. – С. 43–50.
22. *Анатомия и гистология* тимуса американской норки генотипов Standard, Sapphire, Lavander в ранний постнатальный период онтогенеза / Е.И. Земляничная, О.В. Распутина, И.В. Наумкин [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 3. – С. 82–96.
23. *Байматов В.Н.* Гепатозы продуктивных животных и их профилактика: учеб. пособие. – Уфа, 1990. – 165 с.
24. *Бекетов С.В.* Роль изменчивости в повышении продуктивности пушных зверей семейств Canidae и Mustelidae: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – п. Родники Московской обл., 2015. – 22 с.
25. *Колосова О.В.* Морфофункциональные изменения при гепатозах норок и способы их коррекции: автореф. дис. ... канд. вет. наук. – Красноярск, 2008. – 20 с.
26. *Котов А.В., Шабаетов В.С.* Адаптационно-компенсаторные процессы – толкование, методология изучения, философские, общепроизводственные и медицинские аспекты // Вестник Новгородского государственного университета. Сер. Мед. науки. – 2019. – № 3 (115). – С. 8–10.
27. *Сысоева Е.А., Распутина О.В., Трапезов О.В.* Влияние Биостила на репродуктивную способность американских норок генотипа Standart dark Brown с разной оборонительной реакцией на человека // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 1(66). – С. 198–209.

REFERENCES

1. Trapezov O.V., Trapezova L.I., Sergeev E.G., *Genetika*, 2007, No. 37, pp. 516–523. (In Russ.)
2. Fedorova O.I., *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy mediciny im. N.E. Bauman*, 2013, No. 2, pp. 465–469. (In Russ.)
3. Mucha A., Zatoń-Dobrowolska M., Moska M., Wierzbicki H., Dziech A., Bukaciński D., Bukacińska M., How Selective Breeding Has Changed the Morphology of the American Mink (*Neovison vison*), *A Comparative Analysis of Farm and Feral Animals. Animals*, 2021, Vol. 11(1), pp. 106, DOI: 10.3390/ani11010106. PMID: 33430282; PMCID: PMC7825718.
4. Tamlin A.L., Bowman J., Hackett D.F., Separating wild from domestic American mink *Neovison vison* based on skull morphometrics, *Wildlife Biology*, 2009, Vol. 15(3), pp. 266–277.
5. Revjakin I.M., Pugach E.A., *Uchenye Zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy mediciny*, 2015, Vol.51, Is. 1, Part. 1, pp. 122–125. (In Russ.)
6. Hodusov A.A., Ponomareva M.E., Kvochko A.N., Skripkin V.S., Konopljov V.I., *IvanovichIzvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 1, pp. 185–189. (In Russ.)
7. Isakova, M.B., Rasputina O.V., Naumkin I.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2017, No. 1(42), pp. 154–159. (In Russ.)
8. Isakova M.B., Rasputina O.V., Naumkin I.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2016, No. 2(39), pp. 102–107. (In Russ.)
9. Berestov V.A., *Zverovodstvo* (Animal husbandry), Sankt-Peterburg: Lan', 2002, 489 p.
10. Ezhkov V.O., *O Materialy HH nauchno-prakticheskoy konferencii Izhevskoj gos. s.-h. akademii* (Proceedings of the XX scientific and practical conference of the Izhevsk State Agricultural Academy), Proceedings of the Conference Title, Izhevsk, 2000, pp. 144–145. (In Russ.)
11. Kvartnikova E.G., Perminov P.M., *Materialy Mezhdunar. ucheb.-metod. i nauch.-prakt. konf., posvyashch. 85-letiyu Moskovsk. Gos. akad. vet. mediciny i biotekhnologii im. K.I. Skryabina* (Proceedings of the conference dedicated to the 85th anniversary MGAVMiB), Proceedings of the Conference Title, Moscow, 2004, pp. 152–153. (In Russ.)
12. Kochueva N.A., Bochkarev V.N., Zotova A.S., *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii*, 2010, No. 2, pp. 30–33. (In Russ.)
13. Zhavnis S.Je., Shkola T.S., Kamyshko V.E., *Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchno-proizvodstvennoj konferencii po voprosam veterinarii i zhivotnovodstva Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy mediciny im. N.E. Bauman* (Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on veterinary science and animal husbandry of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman), Proceedings of the Conference Title, 1998, pp. 174–175. (In Russ.)
14. Mol'kova A.A., Nosyreva Ju.N., *Vosproizvoditel'nye sposobnosti i produktivnye kachestva norok pri ispol'zovanii kedrovoj muki* (Reproductive abilities and productive qualities of minks when using cedar flour), Irkutsk, 2017, 120 p.
15. Abramov P.N., *Strukturno-funkcional'nye adaptacii v organizme norki pri narushenii belkovogo obmena* (Structural and functional adaptations in the mink organism with protein metabolism disorders), Doctor's thesis, Moscow, 2021, 302 p.
16. Rasputina, O.V., Naumkin I.V., Zemljanickaja E.I., *Organicheskoe sel'skoe hozaystvo i agroturizm: mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Agroturizm v Rossii» v ramkah mezhdunar. tur. Forum* (Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Agroturizm v Rossii"), Proceedings of the Conference Title, Ulan-Udje, 2014, pp. 103–108. (In Russ.)
17. Rasputina O.V., Antipina S.A., *Voprosy veterinarnoy nauki i praktiki* (Issues of veterinary science and practice), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk, 2022, pp. 65–69. (In Russ.)
18. Rasputina O.V., Makarenko L.V., Skomarova M.N., Kulikova A.V., Bal'kova E.A., Shkil' N.A., *Sibirskij vestnik sel'skohozjaystvennoj nauki*, 2012, No. 3, pp. 71–76. (In Russ.)
19. Rasputina O.V., *Farmakologicheskaja ocenka i ispol'zovanie lekarstvennykh sredstv na osnove proizvodnykh aroksialkankarbonovykh kislot v veterinarii i zhivotnovodstve* (Pharmacological evaluation and use of drugs based on derivatives of aroxyalkanecarboxylic acids in veterinary medicine and animal husbandry), Novosibirsk, 2013, 255 p.
20. Zemljanickaja E.I., Rasputina O.V., Naumkin I.V., *Aktual'nye voprosy veterinarnoy mediciny* (Current issues in veterinary medicine), Proceedings of the 14th Siberian Veterinary Conference, Novosibirsk, 2015, pp. 45–47. (In Russ.)
21. Sysoeva E.A., Rasputina O.V., Trapezov O.V., *Krolikovodstvo i zverovodstvo*, 2023, No. 4, pp. 43–50. (In Russ.)
22. Zemljanickaja E.I., Rasputina O.V., Naumkin I.V., Trapezov O.V., Sysoeva E.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2021, No. 3, pp. 82–96. (In Russ.)
23. Bajmatov V.N., *Gepatozy produktivnykh zhivotnykh i ih profilaktika* (Hepatositis of productive animals and its prevention), Ufa, 1990, 165 p.
24. Beketov S.V., *Rol' izmenchivosti v povyshenii produktivnosti pushny'x zverej semejstv Sanidae i Mustelidae* (The role of variability in increasing the productivity of fur-bearing animals of the Sanidae and Mustelidae families), Extended abstract of Doctor's thesis, p. Rodniki Moskovskoj obl., 2015, 22 p.
25. Kolosova O.V., *Morfofunkcional'nye izmeneniya pri gepatozah norok i sposoby ih korrekcii* (Morphofunctional changes in hepatosis of minks and methods of their correction), Extended abstract of candidate's thesis, Krasnojarsk, 2008, 20 p.
26. Kotov A.V., Shabaev V.S., *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo*, 2019, No. 3, pp. 8–10. (In Russ.)
27. Sysoeva E.A., Rasputina O.V., Trapezov O.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, No. 1, pp. 198–209. (In Russ.)

Информация об авторах:

О.В. Распутина, доктор ветеринарных наук, профессор

Е.А. Сысоева, кандидат ветеринарных наук, доцент

О.В. Трапезов, доктор биологических наук, профессор

Е.И. Земляницкая, кандидат ветеринарных наук, доцент

И.В. Наумкин, кандидат ветеринарных наук, доцент

Contribution of the authors:

O.V. Rasputina, Doctor of Veterinary Sciences, Professor

E.A. Sysoeva, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor

O.V. Trapezov, Doctor of Biological Sciences, Professor

E.I. Zemlynitskaya, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor

I.V. Naumkin, Candidate Of Veterinary Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОСТАВ КРОВИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ПРИ СКАРМЛИВАНИИ АНТИСТРЕССОВЫХ КОРМОВЫХ ДОБАВОК В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ

¹А.Ю. Ротова, ¹О.А. Багно, ²С.А. Шевченко, ²А.И. Шевченко

¹Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкого, Кемерово, Россия

²Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск, Россия

E-mail: Anisyaschukina@yandex.ru

Для цитирования: Состав крови цыплят-бройлеров при скормлинии антистрессовых кормовых добавок в условиях промышленного содержания / А.Ю. Ротова, О.А. Багно, С.А. Шевченко, А.И. Шевченко // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 150–159. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-150-159.

Реферат. В условиях научно-хозяйственного опыта были изучены морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при скормлинии им гамма-аминомасляной (ГАМК), фумаровой кислот и их сочетания в условиях промышленного содержания. Эксперимент проведен на бройлерной птицефабрике в Кемеровской области. Объект исследования – цыплята-бройлеры кросса Росс 308. Птицам контрольной группы скормливали полнорационный комбикорм (ПК), птицам 1-й опытной группы – ПК + ГАМК в дозе 25 г/т корма, 2-й опытной группы – ПК + фумаровую кислоту в дозе 200 г/т корма и 3-й опытной группы – ПК + ГАМК в дозе 25 г/т корма + фумаровую кислоту в дозе 200 г/т корма. Кровь для анализа брали в 1-, 21- и 42-е сут выращивания птицы. Результаты исследований показали, что введение изучаемых кормовых добавок в рацион цыплят-бройлеров положительно повлияло на морфобиохимические показатели крови. Так, количество эритроцитов в возрасте 21 сут в крови бройлеров всех опытных групп превышало контрольный показатель на 8,9–14,9 %, в возрасте 42 сут. – на 10,8–15,8 %; содержание гемоглобина – соответственно больше контроля на 23,9–28,3 % и 5,3–7,1 %. В 42-суточном возрасте в крови цыплят 1-, 2- и 3-й опытных групп число эозинофилов уменьшилось на 6,7 % ($p < 0,01$), 4,5 % ($p < 0,05$) и 3,0 %. Показатели белкового обмена у птиц всех опытных групп в возрасте 21 сут. превосходили контрольные значения по общему белку – на 5,6–10,9 %, по альбумину – на 3,7–12,3 %, по глобулину – на 7,0–12,7 %. Активность аспаратаминотрансферазы в крови бройлеров 2-й и 3-й опытных на 21 сут жизни была выше, чем у контрольных на 39,6 ($p < 0,05$) и 43,4 %; на 42 сут. – соответственно на 37,3 ($p < 0,01$) и 25,0 %. Следовательно, введение в рацион цыплят-бройлеров гамма-аминомасляной, фумаровой кислот и их комплекса способствует повышению уровня анаболических процессов в организме птицы. Все цифровые данные, полученные в ходе эксперимента, были обработаны методами вариационной статистики (расчет $M \pm SEM$, критерий Стьюдента).

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, стресс, гамма-аминомасляная кислот, фумаровая кислот, морфологические и биохимические показатели крови.

HEMATOLOGICAL AND BIOCHEMICAL BLOOD PARAMETERS OF BROILER CHICKENS WHEN FEEDING ANTI-STRESS FEED ADDITIVES IN INDUSTRIAL CONDITIONS

¹A.YU. Rotova, ¹O.A. Bagno, ²S.A. Shevchenko, ²A.I. Shevchenko

¹Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov, Kemerovo, Russia

²Gorno-Altai State University, Gorno-Altai, Russia

E-mail: Anisyaschukina@yandex.ru

Abstract. In the conditions of a scientific and economic experiment, morphological and biochemical blood parameters of broiler chickens were studied when they were fed gamma-aminobutyric acid (GABA), fumaric acid, and their combination under industrial housing conditions. The experiment was conducted at a broiler poultry farm in the Kemerovo region. The research subject was broiler chickens of the Ross 308 cross. The control group birds were fed a complete balanced feed (CBF). The 1st experimental group received CBF + GABA at a dose of 25 g/t of feed. The 2nd experimental group received CBF + fumaric acid at a dose of 200 g/t of feed. The 3rd experimental group received CBF + GABA at a dose of 25 g/t of feed + fumaric acid at a dose of 200 g/t of feed. Blood for analysis was collected on the 1st, 21st, and 42nd days of bird rearing. The research results showed that the introduction of the studied feed additives into the diet of broiler chickens had a positive effect on their morphobiological blood parameters. For instance, the number of erythrocytes at 21 days of age in the blood of broilers from all experimental groups exceeded the control value by 8.9–14.9 %, and at 42 days of age, by

10.8–15.8 %. Hemoglobin content was higher than the control by 23.9–28.3 % and 5.3–7.1 %, respectively. At 42 days of age, the number of eosinophils in the blood of chickens in the 1st, 2nd, and 3rd experimental groups decreased by 6.7 % ($p < 0.01$), 4.5 % ($p < 0.05$), and 3.0 %. Protein metabolism indicators in birds from all experimental groups at 21 days of age surpassed the control values for total protein by 5.6–10.9 %, for albumin by 3.7–12.3 %, and for globulin by 7.0–12.7 %. Aspartate aminotransferase activity in the blood of broilers in the 2nd and 3rd experimental groups at 21 days of life was higher than in the control group by 39.6 % ($p < 0.05$) and 43.4 %, respectively. At 42 days of age, it was higher by 37.3 % ($p < 0.01$) and 25.0 %, respectively. Therefore, the introduction of gamma-aminobutyric acid, fumaric acid, and their complex into the diet of broiler chickens contributes to an increase in anabolic processes in the birds' bodies. All the digital data obtained during the experiment were processed by methods of variational statistics (calculation of $M \pm SEM$, Student's criterion).

Keywords: Broiler chickens, feeding, stress, gamma-aminobutyric acid, fumaric acid, and morphological and biochemical blood parameters.

Птицеводство развивается стремительными темпами в связи с постоянно растущим спросом на мясо птицы [1]. У каждой птицефабрики имеются свои решения по оптимизации технологии выращивания цыплят-бройлеров. Но неизменными остаются факторы (транспортировка, плотность посадки, вакцинация, температура в помещении), вызывающие стрессовые состояния у птиц, что отрицательно сказывается на их гомеостазе и соответственно продуктивности [2]. При хроническом характере стресса у бройлеров истощаются адаптационные механизмы, что может стать причиной высокой летальности и усугубляет экономический ущерб.

В составе кормов для сельскохозяйственной птицы должны присутствовать компоненты, содержащие все необходимые вещества для оптимального роста и развития, оказывающие также стимулирующее влияние на обменные процессы в организме. Одними из таких компонентов являются препараты и кормовые добавки, предотвращающие стресс, способствующие повышению продуктивности птицы и стабилизации функционирования ее иммунной системы [3].

При проведении испытаний кормовых добавок в научно-хозяйственном эксперименте изучают их влияние не только на показатели продуктивности, но и на функциональное состояние организма птиц, для чего в динамике опыта исследуют их кровь. Данные, полученные в результате таких исследований, позволяют судить о физиологических процессах, влияющих на рост, продуктивность и иммунный статус подопытного поголовья.

В работе использовали две кормовые добавки, обладающие антистрессовым эффектом. Первая добавка – гамма-аминомасляная кислота (ГАМК), является тормозным медиатором ЦНС, оказывает успокаивающее действие. Благодаря хорошо изученным биологическим свойствам ГАМК ее активно применяют в птицеводстве и животноводстве для подавления стресса и улучшения показателей роста [4–6]. Вторая добавка – фумаровая кислота, является стимулятором аппетита и пищеварения, способствует лучшему усвоению белка, служит активатором в механизмах иммунной защиты и подавлении стрессовых реакций организма. Применение данной кислоты в качестве функциональной кормовой добавки у сельскохозяйственных животных и птиц способствует предотвращению признаков стресса и повышению продуктивности [4, 7].

Цель исследования – изучить морфобиохимический состав крови цыплят-бройлеров в возрастной динамике при скормливаниях гамма-аминомасляной, фумаровой кислот и их сочетания в условиях промышленного содержания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научно-исследовательская работа выполнена на бройлерной птицефабрике Кемеровской области на цыплятах-бройлерах кросса Росс 308 и на кафедре зоотехнии Кузбасского ГАУ.

Объект исследования – цыплята-бройлеры, полученные от них цельная кровь и ее сыворотка.

Для проведения эксперимента в условиях напольного выращивания птицы методом аналогичных групп были сформированы одна контрольная и три опытные группы цыплят-бройлеров суточного возраста по 50 голов в каждой группе. При формировании групп учтены положения «Методики проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы» [8].

Цыплятам контрольной группы скормливали полнорационный комбикорм (ПК) по общепринятым фазам кормления, цыплятам опытных групп с 8-суточного возраста до конца выращивания

дополнительно в состав комбикорма вводили гамма-аминомасляную (ГАМК), фумаровую кислоты и их сочетание. При этом бройлеры 1-й опытной группы получали ПК + ГАМК в дозе 25 г/т комбикорма, 2-й опытной – ПК + фумаровая кислота в дозе 200 г/т комбикорма, 3-й опытной – ПК + ГАМК в дозе 25 г/т комбикорма + фумаровая кислота в дозе 200 г/т комбикорма.

Для гематологических исследований у шести подопытных цыплят из каждой группы в возрасте 1, 21 и 42 сут брали кровь из крыловой вены.

Из морфологических показателей крови по общим и специальным методам исследования крови птиц промышленных кроссов [9] определяли содержание эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина и лейкоцитарную формулу.

Биохимический анализ крови проводили на автоматическом ветеринарном биохимическом анализаторе VETLIGA B-01, работающем по принципу сухой химии. Использовали готовые реагенты, расположенные на пластиковом диске – 16 Health Check Parameters диск-реагент для Vetliga B-01 (страна-производитель Китай). Определяли показатели: белкового обмена – альбумин, общий белок, глобулин, альбумин/глобулин, азот мочевины, креатинин, азот мочевины/креатинин; углеводного обмена – глюкоза; липидного обмена – триглицериды; минерального обмена – кальций, фосфор; активность ферментной системы – аспаратаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза, амилаза, креатинкиназа; общий билирубин – желчный пигмент.

Статистическую обработку полученных данных проводили по общепринятым методикам вариационной статистики с помощью программы MS Excel 2007. Рассчитывали средние значения показателей (M), стандартные ошибки средних ($\pm SEM$). Достоверность разницы между средними значениями признаков оценивали по t -критерию Стьюдента. Отличия считали статистически достоверными при $p < 0,05$. В работе приняты следующие обозначения уровней достоверности (вероятности): * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При анализе морфологических показателей крови цыплят-бройлеров в возрасте 1, 21 и 42 сут (табл. 1) установлено, что в крови цыплят первого дня жизни во всех подопытных группах эти показатели были практически одинаковы и находились в пределах физиологической нормы [10].

В возрасте 21 сут количество эритроцитов в крови цыплят 1-, 2- и 3-й опытных групп было больше, чем у контрольных соответственно на 14,9; 10,5 и 8,9 %; в возрасте 42 сут – больше на 10,8; 15,8 и 11,8 %.

На 21-е сут жизни количество лейкоцитов в крови цыплят контрольной группы было больше на 16,7 и 7,7 % в сравнении со 2-й и 3-й опытными группами и меньше на 8,3 % относительно 1-й опытной группы. В возрасте 42 сут значение данного показателя в крови цыплят контрольной группы меньше относительно аналогов из 1-, 2- и 3-й опытных групп на 14,4, 21,0 и 14,4 % соответственно.

Таблица 1

Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров в возрасте 1, 21 и 42 сут
Morphological parameters of blood of broiler chickens at the age of 1, 21 and 42 days

Показатель	Возраст, сут	Группа			
		контрольная	1-я опытная	2-я опытная	3-я опытная
1	2	3	4	5	6
Эритроциты, $10^{12}/л$	1	$3,82 \pm 0,53$	$3,80 \pm 0,53$	$3,88 \pm 0,49$	$3,78 \pm 0,53$
Лейкоциты, $10^9/л$		$37,80 \pm 4,13$	$37,60 \pm 4,00$	$37,20 \pm 4,61$	$37,20 \pm 4,09$
Базофилы, %		$2,20 \pm 0,87$	$2,00 \pm 0,40$	$2,40 \pm 0,83$	$2,40 \pm 0,88$
Эозинофилы, %		$3,80 \pm 0,95$	$3,60 \pm 0,83$	$4,00 \pm 0,85$	$3,80 \pm 0,95$
Псевдоэозинофилы, %		$32,20 \pm 2,88$	$32,60 \pm 2,79$	$32,20 \pm 2,78$	$32,40 \pm 2,89$
Лимфоциты, %		$54,80 \pm 3,23$	$54,60 \pm 2,84$	$54,60 \pm 3,31$	$54,60 \pm 3,31$
Моноциты, %		$7,00 \pm 0,40$	$7,20 \pm 0,77$	$6,80 \pm 0,52$	$6,80 \pm 0,33$
Гемоглобин, г/л		$100,80 \pm 19,58$	$100,40 \pm 19,34$	$100,20 \pm 18,75$	$100,60 \pm 19,56$

1	2	3	4	5	6
Эритроциты, $10^{12}/л$	21	$5,72 \pm 0,94$	$6,57 \pm 0,59$	$6,32 \pm 0,54$	$6,23 \pm 0,66$
Лейкоциты, $10^9/л$		$28,00 \pm 4,72$	$30,33 \pm 2,82$	$24,00 \pm 2,88$	$26,00 \pm 4,78$
Базофилы, %		$1,17 \pm 0,18$	$1,83 \pm 0,44$	$1,33 \pm 0,37$	$2,00 \pm 0,57$
Эозинофилы, %		$5,17 \pm 0,96$	$5,67 \pm 1,08$	$5,50 \pm 1,16$	$4,67 \pm 0,67$
Псевдоэозинофилы, %		$20,17 \pm 2,81$	$20,50 \pm 1,57$	$21,67 \pm 2,22$	$18,17 \pm 1,95$
Лимфоциты, %		$62,17 \pm 4,99$	$59,83 \pm 1,91$	$59,83 \pm 1,73$	$62,17 \pm 3,41$
Моноциты, %		$11,33 \pm 1,62$	$12,17 \pm 1,61$	$11,67 \pm 1,25$	$13,00 \pm 1,17$
Гемоглобин, г/л		$76,67 \pm 7,96$	$98,33 \pm 5,86$	$98,00 \pm 4,90^*$	$95,00 \pm 11,76$
Эритроциты, $10^{12}/л$	42	$3,15 \pm 0,23$	$3,49 \pm 0,40$	$3,65 \pm 0,56$	$3,52 \pm 0,33$
Лейкоциты, $10^9/л$		$40,50 \pm 3,89$	$46,33 \pm 1,08$	$49,00 \pm 3,52$	$46,33 \pm 1,87$
Базофилы, %		$3,67 \pm 0,83$	$2,67 \pm 0,61$	$6,33 \pm 1,91$	$2,32 \pm 0,46$
Эозинофилы, %		$11,33 \pm 1,12$	$4,67 \pm 0,73^{**}$	$6,83 \pm 1,04^*$	$8,33 \pm 1,64$
Псевдоэозинофилы, %		$29,33 \pm 2,75$	$29,17 \pm 2,16$	$31,00 \pm 2,26$	$30,67 \pm 1,15$
Лимфоциты, %		$48,00 \pm 2,73$	$55,50 \pm 1,78$	$48,50 \pm 2,84$	$51,17 \pm 1,82$
Моноциты, %		$7,67 \pm 0,23$	$8,00 \pm 0,28$	$7,33 \pm 0,23$	$7,50 \pm 0,24$
Гемоглобин, г/л		$150,33 \pm 17,02$	$158,00 \pm 18,61$	$161,00 \pm 18,82$	$160,50 \pm 14,34$

Здесь и далее: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$ относительно контроля.

Количество эозинофилов на 21-е сут опыта в крови цыплят всех групп находилось на одном уровне, на 42-е сут их число у бройлеров 1-, 2-, и 3-й опытных групп оказалось меньше относительно контроля на 6,7 % ($p < 0,01$), 4,5 % ($p < 0,05$) и 3,0 %.

Количество лимфоцитов, моноцитов, базофилов и псевдоэозинофилов в крови подопытной птицы на протяжении всего опыта было практически одинаковым, с незначительными колебаниями в пределах референсных значений.

Содержание гемоглобина в возрасте 21 сут у цыплят контрольной группы было меньше на 28,3; 27,8 ($p < 0,05$) и 23,9 % относительно аналогов из 1-, 2- и 3-й опытных групп; в возрасте 42 сут – меньше соответственно на 5,3; 7,1 и 6,8 %.

Биохимический анализ сыворотки крови суточных цыплят-бройлеров (табл. 2) показал, что значения большинства исследуемых показателей находятся в пределах референсных значений, однако концентрация общего билирубина, глюкозы и кальция во всех группах имеет значения, не соответствующие пределам референса [11].

Таблица 2

Биохимический состав крови суточных цыплят
Biochemical composition of blood of day-old chicks

Показатель	Группа			
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная	3-я опытная
1	2	3	4	5
Альбумин, г/л	$10,93 \pm 1,02$	$10,90 \pm 1,03$	$10,90 \pm 1,04$	$10,83 \pm 1,05$
Общий белок, г/л	$31,60 \pm 3,46$	$30,93 \pm 2,92$	$31,13 \pm 3,62$	$31,80 \pm 3,36$
Глобулин, г/л	$20,67 \pm 2,43$	$20,47 \pm 2,27$	$20,27 \pm 2,59$	$20,40 \pm 2,29$
Альбумин/Глобулин	$0,53 \pm 0,01$	$0,53 \pm 0,02$	$0,54 \pm 0,01$	$0,53 \pm 0,02$
Общий билирубин, мкмоль/л	$32,60 \pm 8,42$	$32,67 \pm 8,38$	$32,77 \pm 8,55$	$32,33 \pm 8,49$
Аспаратаминотрансфераза, ед/л	$374,67 \pm 31,85$	$373,00 \pm 32,40$	$375,33 \pm 32,02$	$373,33 \pm 32,34$
Аланинаминотрансфераза, ед/л	$8,67 \pm 2,23$	$8,67 \pm 2,37$	$9,00 \pm 2,49$	$8,67 \pm 1,91$
Амилаза, ед/л	$923,67 \pm 112,43$	$923,00 \pm 112,77$	$921,67 \pm 110,82$	$923,67 \pm 109,94$

1	2	3	4	5
Креатинкиназа, ед/л	2229,00±725,02	2226,00±725,70	2228,00±724,60	2229,67±724,36
Креатинин, мкмоль/л	20,90±0,74	20,80±0,59	20,70±0,76	20,87±0,57
Азот мочевины, ммоль/л	3,63±0,45	3,59±0,47	3,51±0,40	3,61±0,37
Азот мочевины/ Креатинин	173,68±21,08	172,59±20,87	169,56±20,85	172,97±21,25
Глюкоза, ммоль/л	9,82±0,54	9,84±0,54	9,52±0,36	9,83±0,36
Триглицериды, ммоль/л	1,70±0,33	1,76±0,30	1,72±0,34	1,79±0,24
Кальций, ммоль/л	2,08±0,04	2,13±0,07	2,12±0,04	2,20±0,12
Фосфор, ммоль/л	1,72±0,06	1,76±0,06	1,76±0,06	1,59±0,12

При анализе данных табл. 3 можно отметить следующее. В возрасте 21 сут в крови цыплят контрольной группы обнаружено меньшее содержание альбумина, общего белка и глобулина в сравнении с 1-, 2- и 3-й опытными группами: альбумина на 9,0, 12,3 и 3,7 %; общего белка на 10,9; 9,9 и 5,6 %; глобулина на 12,7; 8,3 и 7,0 % соответственно. В возрасте 42 сут в крови цыплят контрольной группы содержание альбумина было больше на 1,2 и 5,1 % в сравнении с 1-й и 2-й опытными группами и меньше на 3,5 % в сравнении с 3-й опытной группой. Содержание общего белка в крови цыплят контрольной группы было больше на 7,1 и 10,2 % в сравнении с 1-й и 2-й опытными группами и меньше на 0,4 % в сравнении с 3-й опытной группой. Концентрация глобулина в крови бройлеров контрольной группы больше, чем в 1-, 2- и 3-й опытных группах на 11,8 ($p < 0,05$), 14,1 ($p < 0,05$) и 1,9 % соответственно.

Таблица 3

Показатели белкового обмена в крови цыплят-бройлеров в возрасте 21 и 42 сут
Protein metabolism indices in the blood of broiler chickens aged 21 and 42 days

Показатель	Возраст, сут.	Группа			
		контрольная	1-я опытная	2-я опытная	3-я опытная
Альбумин, г/л	21	13,36±0,63	14,56±0,85	15,00±0,69	13,86±0,38
Общий белок, г/л		30,90±1,15	34,26±2,04	33,96±1,71	32,62±0,93
Глобулин, г/л		17,50±0,87	19,72±1,21	18,96±1,04	18,72±0,64
Альбумин/Глобулин		0,76±0,05	0,74±0,01	0,79±0,02	0,74±0,02
Азот мочевины, ммоль/л		1,04±0,12	1,18±0,11	1,25±0,06	1,28±0,08
Креатинин, мкмоль/л		16,50±1,73	18,70±0,63	20,76±2,50	19,80±2,34
Альбумин, г/л	42	19,38±0,42	19,16±0,56	18,44±1,13	20,06±0,52
Общий белок, г/л		46,88±0,95	43,78±1,41	42,56±2,08	47,06±1,53
Глобулин, г/л		27,52±0,57	24,62±1,05*	24,12±1,01*	27,02±1,08
Альбумин/Глобулин		0,70±0,01	0,78±0,03*	0,76±0,03	0,74±0,02
Азот мочевины, ммоль/л		1,04±0,03	0,97±0,04	0,90±0,04*	1,02±0,04
Креатинин, мкмоль/л		17,92±5,02	16,64±2,52	14,02±1,72	15,62±2,79

По данным некоторых авторов [13], соотношение альбумина к глобулину в крови птиц характеризует физико-химические свойства крови и в значительной степени интенсивность обмена веществ в организме. В возрасте 21 сут соотношение альбумина к глобулину в крови цыплят всех групп незначительно колебалось в пределах 2–4 %, однако в возрасте 42 сут этот показатель в контрольной группе был меньше на 11,4 % ($p < 0,05$), 8,6 % и 5,7 % в сравнении с 1-, 2- и 3-й опытными группами соответственно.

Азот мочевины является конечным продуктом белкового обмена, и его концентрация косвенно отражает интенсивность этого обмена. В возрасте 21 сут значения данного показателя меньше в крови цыплят контрольной группы на 13,5; 20,2 и 23,1 % в сравнении с 1-, 2- и 3-й опытными группами. В 42-суточном возрасте азота мочевины меньше у цыплят опытных групп сравнительно с контрольными: в 1-й группе – на 6,7 %; во 2-й – на 13,5 %; в 3-й – на 1,9 %.

Уровень креатинина в крови является, в частности, показателем интенсивности энергетического обмена в тканях организма. В нашем опыте концентрация креатинина в сыворотке крови опытной птицы на 21-е сут жизни была больше, чем в контроле: в 1-й группе – на 13,3; во 2-й – на 25,8; в 3-й – на 20,0 %. В возрасте 42 сут содержание данного показателя в крови цыплят контрольной группы было больше относительно аналогов из 1-, 2- и 3-й опытных групп на 7,7; 27,8 и 14,7 % соответственно.

Глюкоза – один из основных источников энергии для обменных процессов в организме и источник для синтеза жира в печени. Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что в возрасте 21 сут показатель глюкозы в крови подопытных цыплят находился примерно на одном уровне с незначительными колебаниями. На 42-е сутки жизни птицы этот показатель был меньше в опытных группах относительно контроля: в 1-й группе – на 29,4 %; во 2-й – на 19,9 %; в 3-й – на 15,3 %.

Триглицериды – это жиры, которые служат главным источником энергии, в основном для скелетной мускулатуры и миокарда, и входят в состав жировой ткани. В возрасте 21 сут содержание триглицеридов в сыворотке крови бройлеров 1-й опытной группы было меньше, чем в контроле, на 5,0, а во 2-й и 3-й группах – больше соответственно на 3,6 и 16,5 %; в возрасте 42 сут этот показатель во всех опытных группах был меньше, чем в контрольной: в 1-й – на 14,9 %, во 2-й – на 38,0 %, в 3-й – на 14,0 %.

Кальций и фосфор обеспечивают интенсивное течение обменных процессов в организме птиц [15]. При изучении показателей минерального обмена (см. табл. 4) установлено практически одинаковое содержание этих макроэлементов, соответствующее пределам референсных значений [11], в крови цыплят-бройлеров всех подопытных групп.

Таблица 4

Показатели углеводного, липидного и минерального обменов цыплят-бройлеров в возрасте 21 и 42 сут
Carbohydrate, lipid and mineral metabolism indicators of broiler chickens at the age of 21 and 42 days

Показатель	Возраст, сут	Группа			
		контрольная	1-я опытная	2-я опытная	3-я опытная
Глюкоза, ммоль/л	21	13,56±1,13	13,60±0,21	13,25±0,21	13,91±0,30
Триглицериды, ммоль/л		1,39±0,27	1,32±0,08	1,44±0,16	1,62±0,14
Кальций, ммоль/л		2,30±0,07	2,17±0,06	2,35±0,03	2,23±0,05
Фосфор, ммоль/л		2,02±0,08	2,13±0,09	2,00±0,05	2,13±0,13
Глюкоза, ммоль/л	42	13,24±1,57	9,56±0,70	10,61±0,62	11,21±0,77
Триглицериды, ммоль/л		1,21±0,12	1,03±0,14	0,75±0,09	1,04±0,11
Кальций, ммоль/л		2,37±0,05	2,29±0,07	2,43±0,11	2,29±0,04
Фосфор, ммоль/л		2,69±0,07	2,69±0,10	2,53±0,14	2,69±0,09

Билирубин – желчный пигмент, который образуется из гемоглобина и миоглобина в результате как физиологических, так и патологических процессов в организме животных. Анализ концентрации общего билирубина в крови используют для оценки активности гемолитических процессов в организме и функции печени.

Из данных табл. 5 следует, что концентрация общего билирубина в сыворотке крови цыплят 1-й опытной группы в возрасте 21 сут была выше, чем в контроле, на 32,8 %; 2-й опытной – достоверно ниже на 24,7 %; 3-й опытной – выше на 1,7 %. При заключительном исследовании этот показатель в 1-й опытной группе был на одном уровне с контрольным, во 2-й – достоверно выше на 90,3 %, в 3-й – выше на 53,9 %.

Таблица 5

Содержание общего билирубина и некоторых ферментов в крови цыплят-бройлеров в возрасте 21 и 42 сут
The content of total bilirubin and some enzymes in the blood of broiler chickens at the age of 21 and 42 days

Показатель	Возраст, сут	Группа			
		контрольная	1-я опытная	2-я опытная	3-я опытная
Общий билирубин, мкмоль/л	21	8,70±0,80	11,55±1,05	6,55±0,08*	8,85±1,71
Аспаратаминотрансфераза, ед/л		212,40±19,34	242,20±9,84	296,60±19,07*	304,60±40,02
Аланинаминотрансфераза, ед/л		16,20±2,44	8,40±1,54*	17,00±0,49	11,00±1,52
Амилаза, ед/л		847,40±131,59	762,00±68,89	1152,00±204,27	672,40±90,32
Креатинкиназа, ед/л		1578,00±128,48	1850±248,83	1638,33±405,67	1411,75±552,08
Общий билирубин, мкмоль/л	42	3,10±1,00	3,13±1,37	5,90±0,05*	4,77±0,63
Аспаратаминотрансфераза, ед/л		463,20±47,35	445,40±91,24	635,80±12,70**	579,00±45,65
Аланинаминотрансфераза, ед/л		15,40±1,85	10,4±2,91	20,00±3,38	20,08±2,99
Амилаза, ед/л		480,20±38,68	393,40±38,66	418,80±63,49	659,00±99,68
Креатинкиназа, ед/л		3997,20±2,50	3950,00±43,30	4000±0,00	4000±0,00

В клинической биохимии большое значение имеет показатель активности аспаратаминотрансферазы и аланинаминотрансферазы, по значениям которых можно судить о состоянии печени, интенсивности обмена веществ и скорости роста [16, 17]. В нашем опыте обращает на себя внимание значительное возрастание активности АСТ сравнительно с контролем во 2-й опытной группе как на 21-е, так и на 42-е сут опыта – соответственно достоверно на 39,6 и высоко достоверно на 37,3 %. В 3-й опытной группе в оба периода исследования активность данного фермента также намного превышала контрольные показатели: на 43,4 и 25,0 %. В то же время активность АЛТ была минимальной относительно контроля в 1-й опытной группе – в возрасте 21 сут достоверно на 48,1 %, 42 сут – на 32,5 %. Увеличение активности АСТ свидетельствует о более высоком уровне белкового обмена [17].

Активность амилазы по группам и периодам опыта достоверно не различалась, однако можно отметить выраженную тенденцию к увеличению данного показателя сравнительно с контролем в возрасте 21 сут во 2-й опытной группе – на 35,9 % и в возрасте 42 сут в 3-й опытной группе – на 37,2 %.

Креатинкиназа – это внутриклеточный фермент, содержащийся практически во всех тканях организма, преимущественно в скелетных мышцах и сердечной мышце, который катализирует реакцию фосфорилирования креатина, протекающую в аэробных условиях в тканях и органах с высокой активностью анаэробного окисления [18]. Нормальным уровнем креатинкиназы считается 69–524 ед/л, однако у бройлеров этот показатель может достигать 2500–3500 ед/л [11]. В нашем эксперименте активность этого фермента по группам и периодам опыта достоверно не различалась, можно отметить ее повышение в возрасте 21 сут в 1-й опытной группе относительно контроля на 17,2 %, а также очень высокое, практически одинаковое содержание креатинкиназы – до 4000 ед/л – в возрасте 42 сут в крови цыплят всех подопытных групп.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

К наиболее значимым изменениям морфологического состава крови цыплят-бройлеров под влиянием изучаемых факторов можно отнести отчетливую тенденцию к увеличению количества эритроцитов и содержания гемоглобина, более выраженную в возрасте 21 сут. В возрасте 42 сут в крови цыплят опытных групп заметно возросло число лейкоцитов сравнительно с контролем и уменьшилось – эозинофилов, причем в 1-й и 2-й группах соответственно высоко достоверно и достоверно. Мы полагаем, что эти факты свидетельствуют о более интенсивных анаболических и менее интенсивных аллергических процессах у цыплят опытных групп относительно контрольных.

По результатам биохимического анализа крови суточных цыплят, можно предположить, что снижение уровня глюкозы могло произойти в результате стресс-реакции при транспортировке птицы. Также стоит отметить, что высокий уровень билирубина характерен для птиц первых дней жизни, что отражает функциональную активность печени и желточного мешка в данном возрасте [12].

При оценке значений показателей белкового обмена у подопытной птицы обращает на себя внимание тот факт, что в возрасте 21 сут содержание общего белка и белковых фракций в сыворотке крови опытных цыплят заметно выше, чем в контроле, а в возрасте 42 сут картина в целом обратная; альбумин-глобулиновое соотношение в этом возрасте в опытных группах существенно выше, чем в контрольной; концентрация азота мочевины и креатинина на 21 сут жизни выше в крови опытных цыплят, а на 42 сут – выше в крови контрольных бройлеров. Отсюда можно предположить, что под влиянием изучаемых факторов в процессе роста птицы интенсификация белкового обмена у опытных цыплят наступает значительно раньше, чем у контрольных.

При анализе углеводного, липидного и минерального обменов бройлеров наблюдается выраженная тенденция к понижению уровня глюкозы и триглицеридов в крови цыплят всех опытных групп относительно контроля на 42-е сут жизни. Возможно, это связано с синтезом жира в организме опытных бройлеров в этот период на фоне уменьшения показателей белкового обмена. Кроме того, снижение содержания глюкозы в сравнении с контрольными значениями в крови опытных бройлеров может быть проявлением их более высокой стрессоустойчивости [14].

Анализ приведенных данных о содержании общего билирубина и активности рассматриваемых ферментов в крови цыплят не показал четко выраженных закономерностей. Можно отметить достоверное уменьшение концентрации общего билирубина в возрасте 21 сут и достоверное же ее повышение на 42-е сут жизни в крови цыплят 2-й опытной группы. Активность АСТ показала выраженную тенденцию к увеличению относительно контроля у цыплят всех опытных групп на 21-е сут жизни, причем во 2-й группе достоверно, и во 2-й и 3-й группах на 42-е сут (во 2-й группе высоко достоверно). Активность АЛТ была понижена у бройлеров 1-й опытной группы в оба периода исследования, в возрасте 21 сут достоверно. Активность амилазы и креатинкиназы не обнаружила достоверных различий по группам птиц и по периодам опыта, однако можно отметить существенное увеличение концентрации амилазы в сыворотке крови цыплят 2-й опытной группы в возрасте 21 сут и 3-й опытной группы в возрасте 42 сут соответственно на 35,9 и 37,2 %.

Наблюдаемые изменения изученных показателей можно объяснить специфическим влиянием на них гамма-аминомасляной, фумаровой кислот и их комплекса, а также сложностью функционирования и взаимовлияния ферментных систем организма, что подтверждается данными о разнообразии влияния на биохимические константы крови различных компонентов рациона, в том числе биологически активных добавок [16]. Для более детального объяснения необходимы углубленные исследования в данном направлении.

Полученные при проведении наших исследований результаты согласуются с данными других исследователей (И.А. Егоров, В.Г. Вертипрахов, Т.Н. Ленкова и др.), которые отмечают в своих работах, что добавка фумаровой кислоты повышает активность в плазме крови цыплят-бройлеров амилазы и липазы [19].

ВЫВОДЫ

1. Скармливание цыплятам-бройлерам в составе рациона гамма-аминомасляной кислоты в дозе 25 г/т корма, фумаровой кислоты в дозе 200 г/т корма и их комплекса – гамма-аминомасляная кислота в дозе 25 г/т корма + фумаровая кислота в дозе 200 г/т корма – положительно влияет на морфобиохимические показатели их крови.

2. Количество эритроцитов в крови цыплят опытных групп в ходе всего опыта превышало контрольные показатели на 8,9–15,8 %, содержание гемоглобина – на 5,3–27,8 % ($p < 0,05$), число же эозинофилов в конце эксперимента было меньше, чем в крови контрольных бройлеров, на 3,0–6,7 % ($p < 0,01$).

3. Содержание общего белка и белковых фракций в сыворотке крови цыплят опытных групп на 21-е сут жизни превышало контрольные показатели: по общему белку – на 5,6–10,9 %, по альбумину – на 3,7–12,3 %, по глобулину – на 7,0–12,7 %. Активность аспаратаминотрансферазы у опытных цыплят превышала таковую у контрольных на 25–39,6 % ($p < 0,05$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Плаксин И.Е., Трифанов А.В.* Результаты исследований технологических показателей в экспериментальном модуле выращивания цыплят-бройлеров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 3(72). – С. 240–258. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-72-3-240-258.

2. *Influence of paeoniflorin dietary supplementation on growth performance, antioxidant status, blood parameters, carcass characteristics and meat quality in broiler chickens* / Yefei Zhou, Cunyi Qiu, Zhiding Zhou [et al.] // *Veterinary and Animal Science*. – 2025. – Vol. 28. – P. 100450. – DOI: 10.1016/j.vas.2025.100450.
3. Мифтахутдинов А.В., Сайфульмулюков Э.Р. Особенности белкового обмена в организме цыплят-бройлеров при применении в рационе кормовой добавки Пик-Антистресс // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2020. – № 4(57). – С. 103–110. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-103-110.
4. Антистрессовые препараты в рационах цыплят-бройлеров / А.Ю. Ротова, О.А. Багно, О.Н. Прохоров, А.Ю. Егоров // *Биология в сельском хозяйстве*. – 2024. – № 4(45). – С. 35–39. – EDN ANGCGQ.
5. *Role of dietary gamma-aminobutyric acid in broiler chickens raised under high stocking density* / Su-Been Jeong, Yoo Bhin Kim, Jeong-Woo Lee [et al.] // *Animal Nutrition*. – 2020. – Vol. 6(3). – P. 293–304. – DOI: 10.1016/j.aninu.2020.03.008.
6. *The effects of gamma-aminobutyric acid on growth performance, diarrhoea, ruminal fermentation, and antioxidant capacity in pre-weaned calves* / Y.T. Zhang, Y. Yang, D.P. Bu [et al.] // *Animal*. – 2025. – Vol. 19(5). – P. 101493. – DOI: 10.1016/j.animal.2025.101493.
7. *Use of fumaric acid as a feed additive in quail's nutrition: its effect on growth rate, carcass, nutrient digestibility, digestive enzymes, blood metabolites, and intestinal microbiota* / Fayiz M. Reda, Ismail E. Ismail, Adel I. Attia [et al.] // *Poultry Science*. – 2021. – Vol. 100(12). – P. 101493. – DOI: 10.1016/j.psj.2021.101493.
8. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Молекулярно-генетические методы определения микрофлоры кишечника / И.А. Егоров, В.А. Манукян, Т.Н. Ленкова [и др.] / Под общ. ред. В.И. Фисинина. – Сергиев Посад, 2013. – 51 с.
9. Общие и специальные методы исследования крови птиц промышленных кроссов / Н.В. Садовников, Н.Д. Придыбайло, Н.А. Верещак, А.С. Заслонов. – Екатеринбург; СПб., 2009. – 85 с.
10. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: справ. / Под ред. проф. И.П. Кондрахина. – М., 2004. – 520 с.
11. Методические рекомендации по гематологическим и биохимическим исследованиям у кур современных кроссов / И.В. Насонов, Н.В. Буйко, Р.П. Лизун [и др.] // *Мин-во сельского хоз-ва и продовольствия Республики Беларусь; РУП «Институт экспериментальной ветеринарии им. С.Н. Вышеселского национальной академии наук Беларуси»*. – Минск, 2014. – 32 с.
12. Матвеев О.А., Торшков А.А. Морфобиохимический профиль крови цыплят-бройлеров кросса Ross-308 в постинкубационный период онтогенеза // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2018. – № 6(74). – С. 179–183. – EDN YSUCHB.
13. Злепкин А.Ф., Саломатин В.В., Паришкова В.О. Биохимические показатели крови, характеризующие белковый обмен у цыплят-бройлеров при введении в рацион селеносодержащих препаратов // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. – 2018. – № 3(51). – С. 242–246. – EDN VOQSTQ.
14. Горчакова О.И., Горчаков В.Ю., Киселев А.И. Применение глюкозы в качестве антистрессового препарата при выращивании дебикированного молодняка кур // *Сельскохозяйственный журнал*. – 2016. – № 9. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-glyukozy-v-kachestve-antistressovogo-preparata-pri-vyraschivanii-debikirovannogo-molodnyaka-kur> (дата обращения: 02.12.2025).
15. Динамика морфологических и биохимических показателей крови цыплят-бройлеров при использовании в рационе микробиологических препаратов / О.Г. Лоретц, О.В. Горелик, М.А. Зяблицева, А.А. Белококов // *Аграрный вестник Урала*. – 2017. – № 11(165). – С. 5. – EDN YMDFUL.
16. Морфо-биохимические исследования крови у сельскохозяйственной птицы: учеб. пособие / В.Г. Вертипрахов, А.А. Грозина, С.В. Карамушкина [и др.]. – Благовещенск, 2021. – 134 с.
17. Котлярова О.С., Тюньков И.В., Дегтярев Е.А. Сравнительная оценка биохимического статуса цыплят-бройлеров при разных технологиях выращивания // *Инновации и продовольственная безопасность*. – 2018. – № 2(20). – С. 93–96. – EDN XOVRJ.
18. Турганбаева А.С., Абдираимова Н.А., Абдыкадырова Н. Изучение активности ферментов крови у кур в эмбриональном и раннем постэмбриональном периодах // *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова*. – 2018. – № 2(46). – С. 166–171. – EDN YLJSDZ.
19. Использование смеси низкомолекулярных органических кислот в комбикормах для цыплят-бройлеров / И.А. Егоров, В.Г. Вертипрахов, Т.Н. Ленкова [и др.]. // *Птица и птицепродукты*. – 2017. – № 5. – С. 26–28. – EDN ZSRFLD.

REFERENCES

1. Plaksin I.E., Trifanov A.V., *Bulletin of NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2024, No. 3(72), pp. 240–258, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-72-3-240-258. (In Russ.).

2. Yefei Zhou, Cunyi Qiu, Zhiding Zhou [et al.], Influence of paeoniflorin dietary supplementation on growth performance, antioxidant status, blood parameters, carcass characteristics and meat quality in broiler chickens, *Veterinary and Animal Science*, 2025, Vol. 28, pp. 100450, DOI: 10.1016/j.vas.2025.100450.
3. Miftakhutdinov A.V., Sayfulmulyukov E.R., *Bulletin of the NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2020, No. 4(57), pp. 103–110, DOI: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-103-110. (In Russ.).
4. Rotova A.Y., Bagno O.A., Prokhorov O.N., Egorov A.Y., *Biology in agriculture*, 2024, No. 4(45), pp. 35–39, EDN ANGCQQ. (In Russ.).
5. Su-Been Jeong, Yoo Bhin Kim, Jeong-Woo Lee [et al.], Role of dietary gamma-aminobutyric acid in broiler chickens raised under high stocking density, *Animal Nutrition*, 2020, Vol. 6(3), pp. 293–304, DOI: 10.1016/j.aninu.2020.03.008.
6. Zhang Y.T., Yang Y., Bu D.P. [et al.], The effects of gamma-aminobutyric acid on growth performance, diarrhoea, ruminal fermentation, and antioxidant capacity in pre-weaned calves, *Animal*, 2025, Vol. 19 (5), pp. 101493, DOI: 10.1016/j.animal.2025.101493.
7. Fayiz M. Reda, Ismail E. Ismail, Adel I. Attia [et al.], Use of fumaric acid as a feed additive in quail's nutrition: its effect on growth rate, carcass, nutrient digestibility, digestive enzymes, blood metabolites, and intestinal microbiota, *Poultry Science*, 2021, Vol. 100(12), pp. 101493, DOI: 10.1016/j.psj.2021.101493.
8. Egorov I.A., Manukyan V.A., Lenkova T.N. [et al.], *Metodika provedeniya nauchnyh i proizvodstvennyh issledovaniy po kormleniyu sel'skohozyajstvennoj pticy. Molekulyarno-geneticheskie metody opredeleniya mikroflory kishechnika* (Methods of scientific and industrial research on poultry feeding. Molecular genetic methods for the determination of intestinal microflora), Sergiev Posad, 2013, 51 p. (In Russ.).
9. Sadovnikov N.V., Pridybailo N.D., Vereshchak N.A., Zaslonov A.S., *Obshchie i special'nye metody issledovaniya krovi ptic promyshlennykh krossov* (General and special methods of blood testing of birds of industrial crosses), Yekaterinburg: Saint Petersburg, 2009, 85 p. (In Russ.).
10. *Metody veterinarnoj klinicheskoy laboratornoj diagnostiki* (Methods of veterinary clinical laboratory diagnostics), Edited by prof. I. P. Kondrakhin, Moscow, 2004, 520 p. (In Russ.).
11. Nasonov I.V., Buiko N.V., Lizun R.P. [et al.], *Metodicheskie rekomendacii po gematologicheskim i biohimicheskim issledovaniyam u kur sovremennykh krossov* (Methodological recommendations for hematological and biochemical studies in chickens of modern crosses), Minsk, 2014, 32 p. (In Russ.).
12. Matveev O.A., Torshkov A.A., *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*, 2018, No. 6(74), pp. 179–183, EDN YSUCHB. (In Russ.).
13. Zlepkin A.F., Salomatin V.V., Parshkova V.O., *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education*, 2018, No. 3(51), pp. 242–246, EDN VOQSTQ. (In Russ.).
14. Gorchakova O.I., Gorchakov V.Yu., Kiselev A.I., *Agricultural Journal*, 2016, No. 9: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-glyukozy-v-kachestve-antistressovogo-preparata-pri-vyraschivanii-debikirovannogo-molodnyaka-kur>. (In Russ.).
15. Loretz O.G., Gorelik O.V., Zyablitseva M.A., Belookov A.A., *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2017, No. 11(165), pp. 5, EDN YMDFUL. (In Russ.).
16. Vertiprakhov V.G., Gromina A.A., Karamushkina S.V. [et al.], *Morfo-biohimicheskie issledovaniya krovi u sel'skohozyajstvennoj pticy* (Morpho-biochemical blood tests in poultry), Blagoveshchensk, 2021, 134 p. (In Russ.).
17. Kotlyarova O.S., Tyunkov I.V., Degtyarev E.A., *Innovations and food safety*, 2018, No. 2(20), pp. 93–96, EDN XOVRJ. (In Russ.).
18. Turganbayeva A.S., Abdiraimova N.A., Abdikadyrova N., *Proceedings of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov*, 2018, No. 2(46), pp. 166–171, EDN YLJSDZ. (In Russ.).
19. Egorov I.A., Vertiprakhov V.G., Lenkova T.N. [et al.], *Poultry and poultry products*, 2017, No. 5, pp. 26–28, EDN ZSRFLD. (In Russ.).

Информация об авторах:

А.Ю. Ротова, ассистент

О.А. Багно, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

С.А. Шевченко, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

А.И. Шевченко, доктор биологических наук, профессор

Contribution of the authors:

A.Yu. Rotova, Assistant

O.A. Bagno, DSc in Agricultural Sciences, associate professor

S.A. Shevchenko, DSc in Agricultural Sciences, professor

A.I. Shevchenko, DSc of Biological Sciences, professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

КИШЕЧНЫЙ МИКРОБИОМ И ГЕНЫ ИММУНИТЕТА РУССКО-ЛЕНСКОГО ОСЕТРА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРОБИОТИКОВ

^{1,2}С.Р. Салов, ¹Д.В. Микряков, ²Е.Г. Скворцова, ²А.В. Мостофина, ³А.Д. Жандалгарова

¹Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок, Россия

²Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия

³Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

E-mail: 9762@student.yarcx.ru

Для цитирования: Кишечный микробиом и гены иммунитета русско-ленского осетра при применении пробиотиков / С.Р. Салов, Д.В. Микряков, Е.Г. Скворцова, А.В. Мостофина, А.Д. Жандалгарова // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 160–171. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-160-171.

Реферат. В аквакультуре осетровых рыб поддержание сбалансированного кишечного микробиома и иммунной функции критически важно для поддержания здоровья и повышения продуктивности. В кишечнике гибрида осетровых рыб был исследован состав микробиома и гены иммунитета после добавления в корм пробиотиков. В 14-суточном эксперименте участвовало пять групп: контроль (корм без добавок) и опытные группы, получавшие пробиотики «Экофлор» и «Флорин Форте» в разных дозировках. Для исследования отбирали кишечник у пяти особей перед началом эксперимента и в каждой группе на 14-е сутки. Для анализа микробиома применяли метод метабаркодинга переменных участков V3-V4 гена 16S рРНК. С помощью ПЦР-анализа проводили детекцию генов иммунитета (цитокинов, антимикробных пептидов и белков плотных контактов). Установлено, что до эксперимента в кишечнике рыб доминировал условно-патогенный филум Pseudomonadota. Однако после применения пробиотиков во всех группах была отмечена смена доминирующего таксона на Bacillota_D и Bacillota_A, Desulfobacterota_I. Целевые пробиотические штаммы Lactobacillus и Bifidobacterium не были обнаружены, вероятно, из-за короткой длительности эксперимента и условий содержания. Анализ иммунного статуса выявил переменную картину присутствия изучаемых генов между группами. Наибольшая доля положительных результатов по иммунным генам была отмечена у рыб до начала опыта и в группе, получавшей «Экофлор» в дозировке 7 г. При изучении корреляционной матрицы были найдены значимые связи между составом микробиома и иммунными генами. Обнаружено, что условно-патогенные Bacillota_D и Bacillota_C отрицательно влияли на иммунный ответ, а также нарушали целостность кишечного барьера. Напротив, Desulfobacterota_I стимулировал защитные механизмы, положительно коррелируя с антимикробными пептидами. Применение препаратов в период эксперимента привело к значимым, но разнонаправленным изменениям микробиома.

Ключевые слова: русско-ленский осетр, пробиотики, кишечный микробиом, гены иммунитета, метабаркодинг, ПЦР-анализ.

INTESTINAL MICROBIOME AND IMMUNE GENES OF ROLO STURGEON HYBRID USING PROBIOTICS

^{1,2}S.R. Salov, ¹D.V. Mikryakov, ²E.G. Skvortsova, ²A.V. Mostofina, ³A.D. Zhandalgarova

¹Institute for Biology of Inland Waters. I.D. Papanin RAS, Borok, Russia

²Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia

³Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

E-mail: 9762@student.yarcx.ru

Abstract. In sturgeon aquaculture, maintaining a balanced gut microbiome and immune function is critical to maintaining health and improving productivity. The gut microbiome composition and immune genes were studied in hybrid sturgeon after adding probiotics to the feed. Five groups participated in the 14-day experiment: control (feed without additives) and experimental groups receiving probiotics «Ecoflor» and «Florin forte» in different dosages. For the study, the intestines of five individuals were collected before the experiment and in each group on day 14. The microbiome was analyzed using the metabarcoding method of variable regions V3-V4 of the 16S rRNA gene. Immune genes (cytokines, antimicrobial peptides and tight junction proteins) were detected using PCR analysis. It was found that before the experiment, the opportunistic phylum Pseudomonadota dominated in the fish intestine. However, after the use of probiotics, a change in the dominant taxon to Bacillota_D and Bacillota_A, Desulfobacterota_I was noted in all groups. The target probiotic strains Lactobacillus and Bifidobacterium were not detected, probably due to the short duration of the experiment and maintenance conditions. Analysis of the

immune status revealed a variable pattern of the presence of the studied genes between the groups. The highest proportion of positive results for immune genes was noted in fish before the experiment and in the group receiving «Ecoflor» at a dosage of 7 g. When studying the correlation matrix, significant relationships were found between the composition of the microbiome and immune genes. It was found that opportunistic *Bacillota_D* and *Bacillota_C* negatively affected the immune response and disrupted the integrity of the intestinal barrier. In contrast, *Desulfobacterota_I* stimulated defense mechanisms, positively correlating with antimicrobial peptides. The use of drugs during the experimental period led to significant but multidirectional changes in the microbiome.

Keywords: Russian-Lena sturgeon, probiotics, intestinal microbiome, immune genes, metabarcoding, PCR analysis.

Микробиом кишечника играет важнейшую роль в обеспечении здоровья и благополучия рыб, оказывая существенное влияние на процессы пищеварения, обмена веществ и иммунной защиты. В современной аквакультуре необходимо проводить мероприятия, направленные на поддержание сбалансированного микробиоценоза пищеварительной системы. Это важно для регуляции физиологических показателей и повышения устойчивости рыб к заболеваниям [1–7].

Особый интерес вызывает изучение осетровых видов рыб. В современном осетроводстве активно применяются различные методы и препараты, направленные на регулирование кишечного микробиома и поддержку здоровья рыб. В пробиотиках используют живые микроорганизмы, такие как *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus* и *Carnobacterium*, которые способствуют нормализации кишечной микробиоты, укреплению иммунитета и улучшению общих показателей роста и продуктивности рыб [8, 9]. Метабиотики содержат в себе активные метаболиты и экстракты бактерий, которые положительно влияют на иммунитет, обмен веществ и стабильность кишечной микробиоты. Парапробиотики и постбиотики включают в свой состав мертвые бактерии или их метаболиты, которые поддерживают баланс кишечного микробиома и здоровье рыб [10]. Сорбенты – натуральные вещества, такие как гуминовые кислоты, цеолиты и древесный уголь, применяемые для очистки воды и детоксикации организма рыб [2]. Применение таких препаратов направлено на достижение оптимальной продуктивности и устойчивости осетровых рыб к стрессу и возбудителям заболеваний [7–19]. При этом разработка новых биодобавок и введение в практику требует тщательного изучения механизма действия препаратов и эффективных стратегий применения [20–22].

Несмотря на растущий интерес к изучению микробиоты кишечника рыб, некоторые аспекты кишечной микробиоты осетровых рыб остаются малоизученными. Особенно это касается различных осетровых гибридов, которые отличаются высокой устойчивостью к различным условиям содержания. Оценку эффективности влияния пробиотиков на состояние здоровья рыб проводят по составу микробиоты, а также по наличию генов, связанных с иммунным ответом и целостностью кишечного барьера. К ним относятся провоспалительные (*il1b*, *il8*, *tnfa*), противовоспалительные (*il10*) цитокины, антимикробные пептиды (*camp*, *hamp*, *transferrin*), белки плотных контактов, формирующих кишечный барьер (*cldn1*, *cldn3*, *cldn12*, *ocln*, *zo-1*). Исследования показали, что длительное применение многовидового пробиотика (14 мес.) способно повышать выживаемость чавычи (*Oncorhynchus tshawytscha*) при бактериальной инфекции. Однако положительный эффект не всегда сопровождался ожидаемым усилением экспрессии провоспалительных цитокинов или антимикробных пептидов. Положительная реакция генов плотных контактов (*cldn1*, *ocln*) при 10-месячном применении пробиотика указывает на укрепление кишечного барьера как одного из возможных механизмов защиты [22]. Эти данные подчеркивают сложность и неоднозначность иммуномодулирующего действия пробиотиков. Важной задачей для успешного развития аквакультуры становится комплексная оценка микробных сообществ и изучение генов, ответственных за формирование иммунного ответа и барьерной защиты у рыб.

Цель работы – изучение влияния пробиотиков на состав кишечного микробиома и генов, ответственных за иммунный ответ у гибрида осетровых рыб.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные работы проводили на базе научно-производственной фирмы «Касатка». В качестве объектов исследований использовали неполовозрелых особей русско-ленского осетра (*Acipenser gueldenstaedti* Brandt 1833 г. × *A. baeri* Brandt 1869 г.) средней массой 1095,00±45,23 г и

длиной $48,80 \pm 1,93$ см. Рыбы были доставлены из рыбоводного хозяйства АО «Волгореченскрыбхоз» и до начала эксперимента проходили двухнедельную акклиматизацию. Экспериментальное выращивание осуществляли в стеклопластиковых бассейнах объемом $0,3 \text{ м}^3$ согласно опубликованным нормативам [23]. За время эксперимента температура воды колебалась в диапазоне $10,8\text{--}12,3$ °C, содержание кислорода – от 10 до 11 мг O_2 /л, уровень pH и азотистых метаболитов (NH_4/NH_3 ; NO_2 ; NO_3) соответствовал норме для осетровых рыб.

Рыб кормили 6 раз в сутки кормом SUPREME-15 3,0 мм фирмы Alltech Coppens. Согласно данным производителя, в состав данного вида корма входят белки (46 %), жиры (15 %), клетчатка (1,4 %), зола (5,1 %), фосфор (0,85 %) и витамин А (10000 МЕ/кг). Для проведения исследований использовали препарат «Экофлор», представляющий собой смесь антагонистически активных бифидобактерий видов *Bifidobacterium bifidum* и *Bifidobacterium longum*, а также лактобактерий видов *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus acidophilus*. Бактерии были иммобилизованы на энтеросорбенте. Также использовали коммерческий препарат «Флорин Форте», состоящий из комплекса бифидобактерий штамма *Bifidobacterium bifidum* 1, сорбированных на активированном угле, и лактобактерий штамма *Lactobacillus plantarum* 8P-A3. Рыб разделили на пять групп (контрольная и четыре опытных). Контрольная группа (1) получала простой корм, а опытным добавляли препараты в разных дозировках; вторая группа – корм с добавкой препарата «Экофлор» из расчета 5 г/кг корма; третья группа – корм с добавкой препарата «Экофлор» из расчета 7 г/кг корма; четвертая группа – корм с добавкой препарата «Флорин Форте» из расчета 6 г/кг корма; пятая группа – корм с добавкой препарата «Флорин Форте» из расчета 8 г/кг корма. Продолжительность опыта составила 30 сут. Материал для исследования отбирали у пяти особей перед началом эксперимента и в каждой группе на 14-е сутки. У рыб вскрывали брюшную полость, изымали кишечник и полученные пробы замораживали при температуре $-18\text{--}-22$ °C.

Общую ДНК из содержимого прямого отдела кишечника рыб выделяли с использованием набора «ДНК-ЭКСТРАН-2» (ЗАО «Евроген», Москва) на базе кафедры зоотехнии ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ». Анализ микробных сообществ проводили методом метабаркодинга вариабельных участков V3-V4 гена 16S рРНК. Подготовку библиотек и секвенирование выполняли на платформе Illumina MiSeq (v3, 2×250 нт) в ООО «Секвенцио» (Москва). Биоинформатическую обработку данных проводили с кластеризацией в операционные таксономические единицы (OTU) с последующей таксономической классификацией. Значимость различий между группами оценивали с помощью критерия Краскела–Уоллиса. Таксономический состав и относительную численность бактериальных таксонов анализировали с использованием программы Krona. Дополнительно проводили анализ доминирующих таксонов и их относительной численности, %, с визуализацией полученных результатов.

Для выявления некоторых генов, отвечающих за иммунитет у рыб, использовали ПЦР-тест со специфическими праймерами (табл. 1). Амплификацию проводили в следующем режиме [22]: начальная денатурация при 95 °C в течение 2 мин, затем 40 циклов (денатурация при 95 °C – 5 с, отжиг при 60 °C – 30 с, элонгация при 72 °C – 8 с).

Таблица 1

Специфические праймеры иммунитета
Specific immunity primers

Название на русском	Название на английском	Последовательность	Аббревиатура
1	2	3	4
Интерлейкин 1 бета	Interleukin 1 beta	F CCA CAA AGT GCA TTT GAA C	ИЛ-1β (il1β)
		R GCA ACC TCC TCT AGG TGC	
Интерлейкин 8	Interleukin 8	F ACC AGC GAG ATA ACA A	ИЛ-8 (il8)
		R CCA GGA GCA CAA TGA CAA	

1	2	3	4
Интерлейкин 10	Interleukin 10	F GCC TTC TCC ACC ATC AGA GAC	ИЛ-10 (il10)
		R GAT GCT GTC CAT AGC GTG AC	
Фактор некроза опухоли альфа	Tumor necrosis factor alpha	F ACC AAG AGC CAA GAG TTT GAA C	ФНО-α (tnfa)
		R CCA CAC AGC CTC CAT AGC CA	
Антимикробный пептид гепсидин	Hepcidin antimicrobial peptide	F GCT TCT GCT GCA AAT TCT GAG G	Гепсидин (hamp)
		R GTA CAA GAT TGA GGT TGT GCA G	
Антимикробный пептид кателицидин	Cathelicidin antimicrobial peptide	F ATG GGA AAC GAA TGA TGT GC	Кателицидин (camp)
		R CGG TCA GTG TTG AGG GTA TT	
Антимикробный пептид трансферин	Transferrin antimicrobial peptide	F TCA AGA AGA TCA TGC GTA AAG AG	Трансферрин (transferrin)
		R ATG ACA GGG ACC AGA CCA CAT TT	
Клаудин 1	Claudin 1	F GAG GAC CAG GAG AAG AAG G	КлДн-1 (cldn1)
		R AGC CCC AAC CTA CGA AC	
Клаудин 3	Claudin 3	F AGG CAA CGA CGC TAC ATC AA	КлДн-3 (cldn3)
		R GAA ACC CAA GCA ATG CGT CA	
Клаудин 12	Claudin 12	F ATC ATC GCC TTC ATC TCC GT	КлДн-12 (cldn12)
		R TAG CAG CCA GAG TAG CCA TC	
Окклюдин	Occludin	F CAG CTT GCC GTT GTA GAG G	Оккл (ocln)
		R CAG CCC AGT TCC TCC AGT AG	
Белок плотных контактов	Zonula occludens-1	F GCT GTT CCT CCT AGA CCT T	zo-1
		R TCA CCC ACA TCT GAC TCT AC	
Фактор элонгации 1 альфа	α, β Elongation factor 1 alpha	F CGC ACA GTA ACA CCG AAA CTA ATT AAG C	e1a
		R GCC TCC GCA CTT GTA GAT CAG ATG	
β-актин	α, β beta actin	F TGG ACT TTG AGC AGG AGA TGG	β-актин (actb)
		R AGG AAG GAG GGC TGG AAG AG	

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа	<i>b</i> Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase	F GCT GGA ATG GGA CTC ACA C	ГАФДГ (gapdh)
		R GTC AAA ACC GTC TCA GTG GG	
18S рибосомальная РНК	<i>b</i> 18S ribosomal RNA	F CGT CGT AGT TCC GAC CAT AAA	18S рРНК (18S)
		R CCA CCC ACA GAA TCG AGA AA	

Статистическую обработку данных проводили при помощи стандартного пакета прикладных программ Statistica 10, MS Excel 2019.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Состав микробиома. Исследование бактериальных сообществ прямого отдела кишечника показало разнообразный микробиом (табл. 2), в котором присутствуют как полезные симбионты, так и потенциально опасные бактерии.

Таблица 2

Доля различных филумов в кишечном микробиоме гибридов, %
The proportion of different phyla in the intestinal microbiome of hybrids, %

Филум	Контроль до опыта	Контроль	«Экофлор», 5 г	«Экофлор», 7 г	«Флорин Форте», 6 г	«Флорин Форте», 8 г
Pseudomonadota	50±11,0	3±2,1	6±4,0	6±6,0	5±0,0	18±10,5
Bacillota_D	19,5±6,5	57±17,9	27,3±14,7	25±25,0	40,7±8,0	40,3±7,2
Bacillota_A	11±2,0	25,7±15,9	48±23,6	8±8,0	6,7±5,2	19±7,6
Bacillota_C	0	0,3±0,3	1±1,0	0	0	1±0,6
Bacteroidota	5±5,0	5±2,9	11,3±7,7	0,5±0,5	0	10,3±5,5
Actinobacteriota	12±3,0	0,7±0,3	2,3±1,5	3,5±3,5	1,7±0,3	4±2,6
Desulfobacterota_I	0	0	0	56±44,0	0	0
Fusobacteriota	0	0,3±0,3	1,7±1,2	0	0	1,7±0,3
Spirochaetota	0	2,3±2,3	0	0	8,3±4,9	1,7±1,7
Synergistota	0	0	0	0	0	0,33±0,33
Неопределенные таксоны	2,5	5,7	2,4	1	37,6	3,67

Перед началом эксперимента доминирующими филумами в микробиоме прямого отдела кишечника гибридов были *Pseudomonadota* – 50 %, *Bacillota_D* – 19,5 %, *Actinobacteriota* – 12 %, *Bacillota_A* – 11 % и *Bacteroidota* – 5 %. Обнаруженное высокое содержание условно-патогенных бактерий типа *Pseudomonadota* свидетельствует о неблагоприятном состоянии микробиома. Нарушение баланса микробиоценоза кишечника, характеризующееся снижением доли полезных анаэробов (*Bacillota_A*, *Bacteroidota*) и доминированием условно-патогенных групп – *Pseudomonadota*, резко повышает уязвимость рыб к заболеваниям. Основные причины дисбиоза – стресс, низкое качество воды (отклонения в содержании кислорода, колебания pH, уровня аммиака и нитритов), некачественные корма, высокая плотность посадки, температурные перепады и транспортировка. В таких условиях дисбиоза условно-патогенные бактерии реализуют свой патогенный потенциал.

Анализ полученных результатов показал смену доминирующего таксона в микробиоме всех исследуемых групп на 14-е сутки наблюдения. Через две недели эксперимента количество филумов, представленных в кишечном микробиоме рыб, увеличилось, а процентное содержание

значительно изменилось. В контрольной группе показатели *Pseudomonadota* снизились до 3 %, в обеих группах с «Экофлором» – до 6 %, а в группах с «Флорин Форте» – до 5 и 18 %. На смену в микробиоме значительно увеличилось содержание условно-патогенных бактерий. В контрольной группе основу составили *Bacillota_D* – 57 %, *Bacillota_A* – 25,7 %, в незначительном количестве представлены *Bacteroidota* – 5 %, *Pseudomonadota* – 3 %, *Spirochaetota* – 2,3 %, *Actinobacteriota* – 0,7 %, *Fusobacteriota* – 0,3 % и *Bacillota_C* – 0,3 %.

Группы рыб, которые получали «Экофлор», по составу кишечной микробиоты отличались как от контроля, так и между собой. У гибридов из 2-й группы в кишечнике доминировали бактерии *Bacillota_A* – 48 % и *Bacillota_D* – 27,3 %, в меньшем количестве были представлены *Bacteroidota* – 11,3 %, *Pseudomonadota* – 6 %, *Actinobacteriota* – 2,3 %, *Fusobacteriota* – 1,7 % и *Bacillota_C* – 1 %. В микробиоме 3-й группы основу составили *Desulfobacterota_I* – 56 %, *Bacillota_D* – 25 %, *Bacillota_A* – 8 %, *Pseudomonadota* – 6 %. В небольшом количестве представлены *Actinobacteriota* – 3,5 % и *Bacteroidota* – 0,5 %. Доминирующий таксон *Desulfobacterota_I* отсутствовал в остальных группах.

Применение препарата «Флорин Форте» также значительно повлияло на состав кишечного микробиома. В кишечнике 4-й группы рыб отмечено значительное содержание бактерий *Bacillota_D* – 40,7 % и небольшое остальных: *Spirochaetota* – 8,3 %, *Bacillota_A* – 6,7 %, *Pseudomonadota* – 5 % и *Actinobacteriota* – 1,7 %. 5-й группе установлен наиболее высокий процент *Bacillota_D* – 40,7 % и далее по уменьшению *Bacillota_A* – 19 %, *Pseudomonadota* – 18 %, *Bacteroidota* – 10,3 %, *Actinobacteriota* – 4 %, *Spirochaetota* – 1,7 %, *Fusobacteriota* – 1,7 %, *Bacillota_C* – 1 % и *Synergistota* – 0,33 %.

За время эксперимента количество полезных таксонов *Bacteroidota* и *Actinobacteriota* не превышало 10–12 % во всех группах.

Найденные гены иммунитета. Данные ПЦР-теста показали различия и сходства между опытными группами и контролем, а также с данными перед началом эксперимента (табл. 3). У особей до опыта зафиксировано 100%-е наличие почти всех изучаемых генов, кроме антимикробного пептида трансферина, *ef1a* и β -актина. В контрольной группе процент наличия генов снизился: ИЛ-1 β , Клдн-12 и ГАФДГ – 65 %, остальные – 35 %, а β -актин отсутствовал. Стоит отметить наличие антимикробного пептида трансферина и *ef1a*.

Таблица 3

Результаты ПЦР-анализа генов иммунитета гибрида РОЛО, %
Results of PCR analysis of immune genes of the ROLO hybrid, %

Праймер	Контроль до опыта	Контроль	«Экофлор», 5 г	«Экофлор», 7 г	«Флорин Форте», 6 г	«Флорин Форте», 8 г
1	2	3	4	5	6	7
Interleukin 1 beta (il1b)	100	65	35	100	0	0
Interleukin 8 (il8)	100	35	35	100	35	0
Interleukin 10 (il10)	100	35	35	100	65	0
Tumor necrosis factor alpha (tnfa)	100	35	35	100	35	0
Hepcidin antimicrobial peptide (hamp)	100	35	35	100	35	65
Cathelicidin antimicrobial peptide (camp)	100	35	35	50	35	0
Transferrin antimicrobial peptide (transferrin)	0	35	0	100	65	0
Claudin 1 (cldn1)	100	35	0	100	65	35
Claudin 3 (cldn3)	100	35	35	100	35	0
Claudin 12 (cldn12)	100	65	35	100	0	0
Occludin (ocln)	100	35	65	100	65	35
Zonula occludens-1 (zo-1)	100	35	35	100	35	35
a, bElongation factor 1 alpha (ef1a)	0	35	0	0	0	0

1	2	3	4	5	6	7
a, bβactin (actb)	0	0	35	50	35	0
bGlyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (gapdh)	100	65	35	100	65	100
b18S ribosomal RNA (18S)	100	35	35	100	65	65

В опытных группах отмечено значительное различие в наличии генов как по дозировке, так и между разными препаратами. Во 2-й группе наиболее высокий процент зафиксирован у Оккл – 65 %, у большинства – 35 %, а трансферрин, Клдн-1 и ef1a – 0 %. В 3-й группе установлено стопроцентное наличие практически всех генов, кроме кателицидина и β-актина – 50 %, ef1a – 0 %. У особей 4-й группы выявлен ИЛ-10, трансферрин, Клдн-1, Оккл, ГАФДГ и 18S рРНК – 65 %; ИЛ-8, ФНО-α, гепсидин, кателицин, Клдн-3, zo-1 и β-актин – 35 %. Другие гены иммунитета отсутствовали. При исследовании проб 5-й группы зафиксировано отсутствие большинства изучаемых генов, кроме ГАФДГ – 100 %, гепсидин, 18S рРНК – 65 %, Клдн-1; Оккл и zo-1 – 35 %.

Корреляционный анализ. Комплексный анализ данных метабаркодинга микробиома и наличие иммунных генов у гибрида РОЛО выявил статистически значимые корреляции ($p \leq 0,05$). Данные показали сложную сеть взаимозависимостей, где патогенные и условно-патогенные таксоны преимущественно демонстрировали подавление защитных механизмов. Бактерии типа *Bacillota_D* проявляли выраженное иммуносупрессивное действие, о чем свидетельствовали сильные отрицательные корреляции с ИЛ-8 ($r = -0,66$), ИЛ-10 ($r = -0,61$), ФНО-α ($r = -0,66$) и гепсидином ($r = -0,68$), а также критичное подавление барьерных генов Оккл ($r = -0,86$) и zo-1 ($r = -0,72$), что указывает на глубокое нарушение эпителиальной целостности. Аналогично *Bacillota_C* и *Bacteroidota* системно угнетали противовоспалительный ответ ИЛ-10 ($r = -0,81$ и $r = -0,85$) и барьерную функцию, особенно Клдн-1 ($r = -0,81$ и $r = -0,85$), при этом бактерии типа *Bacillota_A* ассоциировались с нарушениями клеточного метаболизма, проявляя высокие отрицательные корреляции с Клдн-1 ($r = -0,87$) и ГАФДГ ($r = -0,76$).

Pseudomonadota, несмотря на условно-патогенный статус, демонстрировали двойственную роль: положительные корреляции с антимикробными генами кателицидин ($r = 0,69$), гепсидин ($r = 0,64$) и zo-1 ($r = 0,57$) предполагали компенсаторную активацию защиты, однако значимое подавление трансферрина ($r = -0,50$) указывало на нарушение обмена железа в организме.

Высокие положительные корреляции выявлены у *Fusobacteriota*, сочетавших активацию трансферрина ($r = 0,78$) с угнетением ИЛ-10 ($r = -0,81$), но имеется и высокий отрицательный показатель с Клдн-1 ($r = -0,81$), что подчеркивает их роль в избирательном подавлении иммунитета. Напротив, такой таксон, как *Desulfobacterota_I* однозначно стимулировал защитные пути, проявляя высокие положительные корреляции с кателицидином ($r = 0,77$), гепсидином ($r = 0,74$), zo-1 ($r = 0,71$), ИЛ-8 и ef1a ($r = 0,59$), и системный иммунный ответ на анаэробные бактерии.

Обнаружена высокая отрицательная корреляция между филумом *Actinobacteriota* и долей гена трансферрина ($r = -0,85$) и Клдн-1 ($r = -0,75$). Бактерии таксонов *Spirochaetota* и *Synergistota* вносили дополнительный вклад в иммуносупрессию через умеренное подавление ИЛ-1β и Клдн-12 ($r = -0,63$), а также ИЛ-10 ($r = -0,69$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Микробиом. Проведенный анализ позволил классифицировать основные группы бактерий по их потенциальному влиянию на организм хозяина. Патогенные бактерии были представлены преимущественно специфическими возбудителями, способными вызывать заболевания даже у здоровых рыб при достаточной вирулентной дозе или благоприятных условиях. К ним относятся: грамположительные: *Streptococcus* spp. (*S. iniae*, *S. henryi*, *S. parauberis*, *S. dysgalactiae*) – возбудители стрептококкоза, сопровождающегося сепсисом, неврологическими нарушениями и массовой гибелью и *Lactococcus_A_343306* – возбудитель лактококкоза; грамотрицательные бактерии *Aeromonas*

spp. – первичные патогены, вызывающие аэромоноз с геморрагическим сепсисом, некрозами и высокой летальностью. Они представляют угрозу для осетровых хозяйств.

Значительную часть выявленного микробиома составляли условно-патогенные бактерии. В нормальных условиях и при сбалансированном микробиоценозе они могут присутствовать, не вызывая заболевания. Доминирование таких микроорганизмов создает значительный риск для здоровья рыб. Нарушение условий содержания и воздействие стрессоров способствуют подавлению механизмов иммунной защиты. Это приводит к переходу условно-патогенных бактерий в патогенную форму, вызывая развитие инфекционных заболеваний. К этой группе относятся представители типа *Pseudomonadota* (роды *Psychrobacter*, *Acinetobacter*, *Stenotrophomonas* *A*, *Shewanella*), а также семейства *Enterobacteriaceae* *A*, *Aeromonadaceae* (кроме патогенов *Aeromonas*), *Moraxellaceae*, *Xanthomonadaceae*. Они становятся причиной вторичных инфекций: язвенная болезнь, некроз жабр, эрозия плавников, энтерит, сепсис. Некоторые обладают высокой устойчивостью к антибиотикам. К ним относятся: *Staphylococcus* spp. (кроме комменсалов), некоторые виды *Bacillus* – патогенные штаммы, *Rhodococcus* *C* 375578, *Mycobacterium* spp. – возбудители хронического микобактериоза, *Fusobacterium* *A* – возбудители некробактериоза с язвами кожи и жабр, системными поражениями, *Peptostreptococcus* при дисбиозе, *Clostridium* spp. – токсигенные штаммы. *Desulfobacterota* *I* сульфатредукторы, продуцирующие токсичный сероводород H_2S при гипоксии.

В микробиоме были обнаружены полезные группы симбиотических бактерий, которые играют ключевую роль в поддержании здоровья рыб. Анаэробные бактерии ферментеры типов *Bacillota* *A* (особенно семейства *Lachnospiraceae*, *Ruminococcaceae*) и *Bacteroidota* (семейство *Bacteroidaceae*), а также *Synergistota*. Их присутствие критически важно для гомеостаза кишечника. Они ответственны за ферментацию клетчатки и других сложных углеводов с образованием короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК, например, масляной). Данные группы становятся основным источником энергии для клеток кишечного эпителия, укрепляют кишечный барьер, поддерживают пищеварение, синтезируют витамины и регулируют иммунный ответ. Отдельные штаммы *Bacillus* способны подавлять рост патогенной микрофлоры за счет конкуренции за ресурсы и пространство и/или продуцирования антимикробных веществ. Непатогенные виды *Sporosarcina*, *Sphingomonas*, *Bradyrhizobium* участвуют в разложении органического вещества и круговороте элементов (азота, углерода) в водной среде и кишечнике, не причиняя вреда рыбе.

Гены иммунитета. Иммунный ответ и целостность тканей регулируются ключевыми молекулами. Провоспалительные цитокины ИЛ-1 β (ключевой медиатор воспаления) и ФНО- α (инициатор воспаления, фактор аутоиммунитета) активируют иммунитет, тогда как ИЛ-10 обеспечивает противовоспалительный баланс. Хемокин ИЛ-8 рекрутирует нейтрофилы и моноциты в очаги воспаления [24]. Антимикробную защиту усиливает пептид кателицидин (прямая активность), трансферрин (ограничение железа) и гепсидин (регулятор гомеостаза железа) [25]. Целостность эпителиальных барьеров поддерживают белки плотных контактов: Кдн-1,3,12 формируют селективные поры [26], Оклл обеспечивает механическое соединение, а zo-1 стабилизирует комплекс [27]. Базовые клеточные процессы, фундаментальные для иммунитета, зависят от e1a (трансляция) [28], β -актина (цитоскелет) [29], ГАФДГ (гликолиз) [30] и 18S рРНК (рибосомальная функция) [31].

Анализ связи состава микробиома с генами иммунитета. Полученные результаты указывают на то, что доминирующие в микробиоме таксоны оказывают системное и разнонаправленное влияние на иммунный статус и целостность кишечного барьера. Обнаруженная иммуносупрессивная роль филумов *Bacillota* и *Bacteroidota*, проявляющаяся в подавлении ключевых цитокинов (ИЛ-8, ИЛ-10, ФНО- α) и барьерных генов (Оклл, zo-1, Кдн-1), позволяет рассматривать их как критический фактор риска развития воспаления и нарушения эпителиальной целостности кишечника.

Двойственная природа доминирующего таксона *Pseudomonadota*, по всей видимости, оказала влияние на реакцию генов. Данный таксон одновременно активирует антимикробную защиту и подавляет метаболизм железа, что подчеркивает сложность взаимодействий в системе «микробиота–хозяин» и показывает, что их условно-патогенный статус может оказаться в зависимости от состава микробиома. В свою очередь, явная провоспалительная активность *Fusobacteriota* и выраженная иммуностимулирующая роль *Desulfobacterota* *I*, возможно, указывают на антагонистические взаимоотношения внутри микробиоты, где одни таксоны могут потенцировать повреждение, а другие – компенсировать его.

Ключевым индикатором барьерной дисфункции стал Клдн-1, проявивший наиболее сильные отрицательные корреляции с патоген-ассоциированными таксонами ($|r|$ до 0,87), что подтверждает его роль в поддержании кишечной целостности. Отсутствие в пробах пробиотических штаммов (*Bifidobacterium*, *Lactobacillus*), введенных с препаратами «Экофлор» и «Флорин Форте», вероятно, связано с непродолжительностью эксперимента, температурным режимом и качеством воды. Для определения колонизационного потенциала исследуемых препаратов и их влияния на активацию генов, ответственных за иммунный ответ и целостность кишечного барьера, требуется проведение дальнейших исследований.

ВЫВОДЫ

1. В конце эксперимента установлена смена доминирующего в микробиоме кишечника перед началом эксперимента филума *Pseudomonadota* на другие типы бактерий во всех исследуемых группах.
2. Применение пробиотиков «Экофлор» и «Флорин Форте» в течение 14 сут вызвало значительные, но разнонаправленные изменения состава микробиоты, при этом целевые пробиотические штаммы не были замечены.
3. Высокий процент положительно реагирующих генов иммунитета установлен у рыб перед экспериментом и после кормления препаратом «Экофлор» в дозе 7 г. Такая активация иммунной защиты, вероятно, связана с доминированием патогенов *Pseudomonadota* и *Desulfobacterota* I.
4. Статистически значимые корреляции подтвердили связь между некоторыми бактериальными таксонами и наличием определенных генов иммунитета.

Исследование выполнено за счет средств бюджетов бюджетной системы Российской Федерации, о проведенных научных исследованиях (разработках), о полученных научных и научно-технических результатах № 225013105843-2, гранта Российского научного фонда № 25-26-20177

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Влияние качества корма на скорость роста, биохимические показатели и микробиом кишечника стерляди *Acipenser ruthenus* / В.А. Григорьев, М. Куликов, М.С. Мазанко [и др.] // Science in the South of Russia. – 2024. – Т. 20, № 1. – С. 70–76. – DOI: 10.7868/25000640240109.
2. Использование кормовых добавок с сорбционными свойствами в рыбоводстве: обзор научной литературы / Ю.В. Килякова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, М.С. Мингазова // Ветеринарная патология. – 2024. – Т. 23, № 4. – С. 52–66. – DOI: 10.23947/2949-4826-2024-23-4-52-66.
3. Положительный опыт применения штамма *Lactobacillus brevis* 47f на рыбоводно-биологические, гематологические и гистологические показатели молоди стерляди (*Acipenser ruthenus*) / Н.И. Кочетков, Д.Л. Никифоров-Никишин, С.В. Смородинская [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2024. – № 4. – С. 96–107. – DOI: 10.36038/0131-6184-2024-4-96-107.
4. Маленкина К.А., Аринжанов А.Е. Биологически активные кормовые добавки в аквакультуре // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1(105). – С. 291–297. – DOI: 10.37670/2073-0853-2024-105-1-291-297.
5. Рудой Д.В., Брень А.Б., Празднова Е.В. Новые кормовые добавки в аквакультуре: ключ к комплексному решению основных проблем отрасли // Сборник материалов XXXII Московского международного ветеринарного конгресса, Москва, 10–12 апр. 2024 г. – М., 2024. – С. 101–110.
6. Влияние применения пробиотиков на рыбоводно-биологические показатели и приросты осетровых рыб / Д.А. Юрин, Е.А. Максим, Д.В. Осепчук [и др.] // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2022. – Т. 11, № 1. – С. 100–104. – DOI: 10.48612/sbornik-2022-1-23.
7. Next-Generation Sequencing to Determine Changes in the Intestinal Microbiome of Juvenile Sturgeon Hybrid (*Acipenser gueldenstaedtii*♀ × *Acipenser baerii*♂) Resulting from Sodium Butyrate, B-Glucan and Vitamin Supplementation. / M. Arciuch-Rutkowska, J. Nowosad, M.K. Łuczyński [et al.] // Genes. – 2024. – Vol. 15, N 10. – DOI: 10.3390/genes15101276.
8. Изучение эффективности использования кормовой добавки «Файбрамакс Плюс» в рационе стербела / Е.А. Максим, Д.А. Юрин, А.А. Данилова [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. – 2024. – № 2. – С. 49–56. – DOI: 10.24143/2073-5529-2024-2-49-56.

9. Isolation, characterization of *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens* and validation of the potential probiotic efficacy on growth, immunity, and gut microbiota in hybrid sturgeon (*Acipenser baerii* ♀ × *Acipenser schrenckii* ♂) / Q. Su, X. Peng, Z. Zhang [et al.] // Fish Shellfish Immunol. – 2025. – Vol. 157. – DOI: 10.1016/j.fsi.2024.110081.
10. Plant protein diet-induced hypoimmunity by affecting the spiral valve intestinal microbiota and bile acid enterohepatic circulation in Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) / H.C. Wei, S.J. Xing, P. Chen [et al.] // Fish Shellfish Immunol. – 2020. – Vol. 106. – P. 421–430. – DOI: 10.1016/j.fsi.2020.08.025.
11. Бактериофлора рыб – объектов аквакультуры Беларуси и Узбекистана / А.Р. Курбанов, С.М. Дегтярик, Г.В. Слободническая [и др.] // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2023. – № 39. – С. 434–453.
12. Изучение микрофлоры осетровых видов рыб разводимых в УЗВ с применением методов метагеномики / Н.Х. Сергалиев, Е.Е. Андронов, А.Г. Пинаев [и др.] // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2019. – Т. 8, № 1. – С. 63–68. – DOI: 10.34617/1k2c-7x77.
13. Изучение микробиома шипов, выращиваемых в условиях замкнутого водоснабжения с применением методов метагеномики / Н.Х. Сергалиев, М.Г. Какишев, Н.С. Гинаятов [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – Т. 2, № 58. – С. 19–28.
14. Compositional Dynamics of Gastrointestinal Tract Microbiomes Associated with Dietary Transition and Feeding Cessation in Lake Sturgeon Larvae / S. Abdul Razak, S. Valentine, T. Marsh [et al.] // Microorganisms. – 2022. – Vol. 10, N 9. – DOI: 10.3390/microorganisms10091872.
15. Severe gastroenteropathy associated with *Clostridium perfringens* isolation in starving juvenile sturgeons / G. Brocca, S. Zamparo, T. Pretto [et al.] // J Fish Dis. – 2022. – Vol. 45, No. 3. – P. 471–477. – DOI: 10.1111/jfd.13579.
16. Dynamic Impacts of Stock Enhancement on Kaluga Sturgeon (*Huso dauricus*): Novel Conservation Strategy Insights from the Gut Microbe Composition and Gene Expression Mode / Y. Li, R. Wang, C. Zhai [et al.] // Int J Mol Sci. – 2025. – Vol. 26, N 4. – DOI: 10.3390/ijms26041480.
17. Use of a paraprobiotic and postbiotic feed supplement (HWFTM) improves the growth performance, composition and function of gut microbiota in hybrid sturgeon (*Acipenser baerii* × *Acipenser schrenckii*) / X. Wu, T. Teame, Q. Hao [et al.] // Fish Shellfish Immunol. – 2020. – Vol. 104. – P. 36–45. – DOI: 10.1016/j.fsi.2020.05.054.
18. Resveratrol Improves the Digestive Ability and the Intestinal Health of Siberian Sturgeon / S. Yang, W. Xu, L. Feng [et al.] // Int. J. Mol. Sci. – 2022. – Vol. 23, N 19. – P. 11977. – DOI: 10.3390/ijmp231911977.
19. Physiological responses of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) juveniles fed on full-fat insect-based diet in an aquaponic system / M. Zarantonello, B. Randazzo, V. Nozzi [et al.] // Sci. Rep. – 2021. – Vol. 11, No. 1. – DOI: 10.1038/s41598-020-80379-x.
20. Способ выращивания молоди осетровых рыб с использованием пробиотиков / Е.А. Максим, Н.А. Юрина, Д.А. Юрин, Н.Л. Мачнева // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2017. – № 40. – С. 67–76. – DOI: 10.17217/2079-0333-2017-40-67-76.
21. Сергалиев Н.Х., Какишев М.Г., Гинаятов Н.С. Применение методов метагеномики при оценке разнообразия микробиома осетровых, выращиваемых в УЗВ // Ветеринарный врач. – 2019. – № 5. – С. 38–45. – DOI: 10.33632/1998-698X.2019-5-38-45.
22. Effect of dietary supplementation of probiotic on growth, survival, and immune-related biomarkers in Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) challenged with *Vibrio anguillarum* / M. Soto-Dávila, R. A. Webb, T. Rodríguez-Ramos, G. McDonald // Aquaculture. – 2024. – Vol. 583. – DOI: 10.1016/j.aquaculture.2024.740582.
23. Пономарев С.В., Грозеску Ю.Н., Бахарева А.А. Индустриальное рыбоводство: учеб. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб., 2022. – 448 с.
24. Роит А., Бростофф Дж., Мейл Д. Иммунология. – М.: Мир, 2000. – 592 с.
25. Mousavi Maleki M.S., Rostamian M., Madanchi H. Antimicrobial peptides and other peptide-like therapeutics as promising candidates to combat SARS-CoV-2 // Expert Rev Anti Infect Ther. – 2021. – Vol. 19, N 10. – P. 1205–1217. – DOI: 10.1080/14787210.2021.1912593.
26. Systems Proteomics View of the Endogenous Human Claudin Protein Family / F. Liu, M. Koval, S. Ranganathan [et al.] // J Proteome Res. – 2016. – Vol. 15, No 2. – P. 339–359. – DOI: 10.1021/acs.jproteome.5b00769.
27. Dörfel M.J., Huber O. Modulation of tight junction structure and function by kinases and phosphatases targeting occluding // J Biomed Biotechnol. – 2012. – No 10. – DOI: 10.1155/2012/807356.
28. Evaluation on Elongation Factor 1 Alpha of *Entamoeba histolytica* Interaction with the Intermediate Subunit of the Gal/GalNAc Lectin and Actin in Phagocytosis / H. Zhou, Y. Guan, M. Feng [et al.] // Pathogens. – 2020. – Vol. 9, N 9. – P. 702. – DOI: 10.3390/pathogens9090702.
29. Mecinović J. β-Actin Peptide-Based Inhibitors of Histidine Methyltransferase SETD3 // ChemMedChem. – 2021. – Vol. 16, No 17. – P. 2695–2702. – DOI: 10.1002/cmdc.202100296.
30. Glyceraldehyde-3-Phosphate Dehydrogenase of *Babesia microti* Is a Plasminogen- and Actin-Binding Protein / X. Liu, H. Li, H. Deng [et al.] // Front Vet Sci. – 2019. – No 6. – P. 228. – DOI: 10.3389/fvets.2019.00228.

31. *RNA helicase 10 is required for 18S rRNA maturation by controlling the release of U3 snoRNA from pre-rRNA in embryonic stem cells* / X. Wang, G. Hu, L. Wang [et al.] // *Nat Commun.* – 2024. – Vol. 15, N 1. – DOI: 10.1126/sciadv.aba9628.

REFERENCES

1. Grigoriev V.A., Kulikov M., Mazanko M.S., Prazdnova E.V., Chistyakov V., Rudoy D., Bren A., Kovaleva A.V., Ivanov Yu., *Science in the South of Russia*, 2024, Vol. 20, No. 1, pp. 70–76, DOI: 10.7868/25000640240109. (In Russ.)
2. Kilyakova Yu.V., Miroshnikova E.P., Arinzhanov A.E., Mingazova M.S., *Veterinary pathology*, 2024, Vol. 23, No. 4, pp. 52–66, DOI: 10.23947/2949–4826-2024-23-4-52-66 (In Russ.)
3. Kochetkov N.I., Nikiforov-Nikishin D.L., Smorodinskaya S.V., Klimuk A.A., Golovacheva N.A., *Fisheries*, 2024, No. 4, pp. 96–107, DOI 10.36038/0131-6184-2024-4-96-107. (In Russ.)
4. Malenkina K.A., Arinzhanov A.E., *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*, 2024, No. 1 (105), pp. 291–297, DOI: 10.37670/2073-0853-2024-105-1-291-297. (In Russ.)
5. Rudoy D.V., Bren A.B., Prazdnova E.V., New feed additives in aquaculture: the key to a comprehensive solution to the main problems of the industry, *Collection of materials of the XXXII Moscow International Veterinary Congress*, Moscow, April 10–12, 2024, Moscow: Publishing house «Scientific Library», 2024, pp. 101–110. (In Russ.)
6. Yurin D.A., Maxim E.A., Osepchuk D.V., Danilova A.A., Tletseruk I.R., *Collection of scientific papers of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine*, 2022, Vol. 11, No. 1, pp. 100–104, DOI: 10.48612/sbornik-2022-1-23. (In Russ.)
7. Arciuch-Rutkowska M., Nowosad J., Łuczyński M.K., Hussain S.M., Kucharczyk D., Next-Generation Sequencing to Determine Changes in the Intestinal Microbiome of Juvenile Sturgeon Hybrid (*Acipenser gueldenstaedtii* ♀ × *Acipenser baerii* ♂) Resulting from Sodium Butyrate, B-Glucan and Vitamin Supplementation, *Genes*, 2024, Vol. 15, No. 10, DOI: 10.3390/genes15101276.
8. Maxim E.A., Yurin D.A., Danilova A.A., Tletseruk I.R., Khatkova M.Kh., *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries*, 2024, No. 2, pp. 49–56, DOI: 10.24143/2073-5529-2024-2-49-56. (In Russ.)
9. Su Q., Peng X., Zhang Z., Xiong Z., He B., Chu P., Zhu C., Isolation, characterization of *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens* and validation of the potential probiotic efficacy on growth, immunity, and gut microbiota in hybrid sturgeon (*Acipenser baerii* ♀ × *Acipenser schrenckii* ♂), *Fish Shellfish Immunol*, 2025, Vol. 157, DOI: 10.1016/j.fsi.2024.110081.
10. Wei H.C., Xing S.J., Chen P., Wu X.F., Gu X., Luo L., Liang X.F., Xue M., Plant protein diet-induced hyp immunity by affecting the spiral valve intestinal microbiota and bile acid enterohepatic circulation in Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*), *Fish Shellfish Immunol*, 2020, Vol. 106, pp. 421–430, DOI: 10.1016/j.fsi.2020.08.025.
11. Kurbanov A.R., Degtyarik S.M., Slobodnitskaya G.V., Poloz S.V., Mirolimova Sh.M., Titova N.O., Maksimyyuk E.V., Govor T.A., Besspalov A.V., Grebneva E.I., *Issues of fisheries of Belarus*, 2023, No. 39, pp. 434–453. (In Russ.)
12. Sergaliev N.Kh., Andronov E.E., Pinaev A.G., Kakishev M.G., Ginayatov N.S., *Collection of scientific papers of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine*, 2019, Vol. 8, No. 1, pp. 63–68, DOI: 10.34617/1k2c-7x77. (In Russ.)
13. Sergaliev N.Kh., Kakishev M.G., Ginayatov N.S., Andronov E.E., Pinaev A.G., *Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy*, 2019, Vol. 2, No. 58, pp. 19–28. (In Russ.)
14. Abdul Razak S., Valentine S., Marsh T., Bauman J., Mohd-Assaad N., Scribner K.T., Compositional Dynamics of Gastrointestinal Tract Microbiomes Associated with Dietary Transition and Feeding Cessation in Lake Sturgeon Larvae, *Microorganisms*, 2022, Vol. 10, No. 9, DOI: 10.3390/microorganisms10091872.
15. Brocca G., Zamparo S., Pretto T., Calore A., Marsella A., Xiccato R.L., Cornaggia M., Cortinovis L., Bano L., Toffan A., Quaglio F., Verin R., Severe gastroenteropathy associated with *Clostridium perfringens* isolation in starving juvenile sturgeons, *J Fish Dis*, 2022, Vol. 45, No. 3, pp. 471–477, DOI: 10.1111/jfd.13579.
16. Li Y., Wang R., Zhai C., Cao D., Sun Z., Zhang Y., Ma B., Dynamic Impacts of Stock Enhancement on Kaluga Sturgeon (*Huso dauricus*): Novel Conservation Strategy Insights from the Gut Microbe Composition and Gene Expression Mode, *Int J Mol Sci*, 2025, Vol. 26, No. 4, DOI: 10.3390/ijms26041480.
17. Wu X., Teame T., Hao Q., Ding Q., Liu H., Ran C., Yang Y., Zhang Y., Zhou Z., Duan M., Zhang Z., Use of a paraprobiotic and postbiotic feed supplement (HWFTM) improves the growth performance, composition and function of gut microbiota in hybrid sturgeon (*Acipenser baerii* × *Acipenser schrenckii*), *Fish Shellfish Immunol*, 2020, Vol. 104, pp. 36–45, DOI: 10.1016/j.fsi.2020.05.054.
18. Yang S., Xu W., Feng L., Zhang C., Yan C., Zhang J., Lai J., Yan T., He Z., Du X., Du Z., Luo W., Huang X., Wu J., Li Y., Resveratrol Improves the Digestive Ability and the Intestinal Health of Siberian Sturgeon, *Int. J. Mol. Sci*, 2022, Vol. 23, No. 19.
19. Zarantonello M., Randazzo B., Nozzi V., Truzzi C., Giorgini E., Cardinaletti G., Freddi L., Ratti S., Girolametti F., Osimani A., Notarstefano V., Milanović V., Riolo P., Isidoro N., Tulli F., Gioacchini G., Olivotto I., Physiological

- responses of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) juveniles fed on full-fat insect-based diet in an aquaponic system, *Sci. Rep.*, 2021, Vol. 11, No. 1, DOI: 10.1038/s41598-020-80379-x.
20. Maxim E.A., Yurina N.A., Yurin D.A., Machneva N.L., Method of growing sturgeon juveniles using probiotics, *Bulletin of the Kamchatka State Technical University*, 2017, No. 40, pp. 67–76, DOI: 10.17217/2079-0333-2017-40-67-76. (In Russ).
 21. Sergaliev N.Kh., Kakishev M.G., Ginayatov N.S., Application of metagenomics methods in assessing the diversity of the microbiome of sturgeons grown in RAS, *Veterinary doctor*, 2019, No. 5, pp. 38–45, DOI: 10.33632/1998-698X.2019-5-38-45. (In Russ).
 22. Soto-Dávila M., Webb R.A., Rodríguez-Ramos T., McDonald G., Effect of dietary supplementation of probiotic on growth, survival, and immune-related biomarkers in Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) challenged with *Vibrio anguillarum*, *Aquaculture*, 2024, Vol. 583, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2024.740582.
 23. Ponomarev S.V., Grozesku Yu.N., Bakhareva A.A., *Industrial'noe rybovodstvo* (Industrial fish farming), Saint-Petersburg, 2022, 448 p.
 24. Royt A., Brostoff J., Meil D., *Immunologiya* (Immunology), Moscow: Mir, 2000, 592 p.
 25. Mousavi Maleki M.S., Rostamian M., Madanchi H., Antimicrobial peptides and other peptide-like therapeutics as promising candidates to combat SARS-CoV-2, *Expert Rev Anti Infect Ther*, 2021, Vol. 19, No. 10, pp. 1205–1217, DOI: 10.1080/14787210.2021.1912593.
 26. Liu F., Koval M., Ranganathan S., Fanayan S., Hancock W.S., Lundberg E.K., Beavis R.C., Lane L., Duek P., McQuade L., Kelleher N.L., Baker M.S., Systems Proteomics View of the Endogenous Human Claudin Protein Family, *J Proteome Res*, 2016, Vol. 15, No. 2, pp. 339–359, DOI: 10.1021/acs.jproteome.5b00769.
 27. Dörfel M.J., Huber O., Modulation of tight junction structure and function by kinases and phosphatases targeting occluding, *J Biomed Biotechnol*, 2012, No. 10, DOI: 10.1155/2012/807356.
 28. Zhou H., Guan Y., Feng M., Fu Y., Tachibana H., Cheng X., Evaluation on Elongation Factor 1 Alpha of *Entamoeba histolytica* Interaction with the Intermediate Subunit of the Gal/GalNAc Lectin and Actin in Phagocytosis, *Pathogens*, 2020, Vol. 9, No. 9, pp. 702, DOI: 10.3390/pathogens9090702.
 29. Hintzen J.C.J., Moesgaard L., Kwiatkowski S., Drozak J., Kongsted J., Mecinović J., β -Actin Peptide-Based Inhibitors of Histidine Methyltransferase SETD3, *ChemMedChem*, 2021, Vol. 16, No. 17, pp. 2695–2702, DOI: 10.1002/cmde.202100296.
 30. Liu X., Li H., Deng H., Zheng C., Yan H., Chen Z., Bian A., Chen J., Zheng K., Glyceraldehyde-3-Phosphate Dehydrogenase of *Babesia microti* Is a Plasminogen- and Actin-Binding Protein, *Front Vet Sci*, 2019, No. 6, pp. 228, DOI: 10.3389/fvets.2019.00228.
 31. Wang X., Hu G., Wang L., Lu Y., Liu Y., Yang S., Liao J., Zhao Q., Huang Q., Wang W., Guo W., Li H., Fu Y., Song Y., Cai Q., Zhang X., Wang X., Chen Y.Q., Zhang X., Yao H., DEAD-box RNA helicase 10 is required for 18S rRNA maturation by controlling the release of U3 snoRNA from pre-rRNA in embryonic stem cells, *Nat Commun*, 2024, Vol. 15, No. 1, DOI: 10.1126/sciadv.aba9628.

Информация об авторах:

С.Р. Салов, младший научный сотрудник

Д.В. Микряков, кандидат биологических наук, зав. лабораторией иммунологии, ведущий научный сотрудник

Е.Г. Скворцова, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой зоотехнии

А.В. Мостофина, старший преподаватель кафедры зоотехнии

А.Д. Жандалгарова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Аквакультура и водные биоресурсы»

Contribution of the authors:

S.R. Salov, Junior Researcher

D.V. Mikryakov, PhD in Biology, Head of the Immunology Laboratory, Leading Researcher

E.G. Skvortsova, PhD in Biology, Associate Professor, Head of the Animal Science Department

A.V. Mostofina, Senior Lecturer, Animal Science Department

A.D. Zhandalgarova, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Aquaculture and Aquatic Bioresources

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕПРОДУКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ СОХРАНЕНИЯ *IN VITRO* И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАМЕТ САМОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПТИЦ (ОБЗОР)

Ю.Л. Силукова, О.И. Станишевская

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста», Санкт-Петербург, Россия

E-mail: svadim33@mail.ru

Для цитирования: Силукова Ю.Л., Станишевская О.И. Инновационные репродуктивные технологии в области сохранения *in vitro* и использования гамет самок сельскохозяйственных птиц (обзор) // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 172–183. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-172-183.

Реферат. Стремительное сокращение биоразнообразия сельскохозяйственных птиц и их диких сородичей требует разработки эффективных методов его сохранения *in vitro*. Создание криобанков долговременного хранения репродуктивных клеток птиц является актуальным стратегическим решением данной проблемы. Однако на сегодняшний день разработаны эффективные протоколы криогенного сохранения только сперматозоидов птиц. Замораживание яйцеклеток птиц остается невозможным, что ведет к утрате генетической информации ядерной и митохондриальной ДНК матерей. Использование достижений в области получения и культивирования первичных плюрипотентных клеток (PGCs) и эмбриональных гонадных половых клеток (GGCs) является жизнеспособной альтернативой в решении проблемы сохранения генофонда птиц. Преимущество протоколов с использованием GGCs состоит в раннем определении пола донора и направленном сохранении *in vitro* женского репродуктивного материала. Кроме того, существует возможность низкотемпературного интраовариального сохранения женских гамет птиц. Активно развивается направление по использованию замороженных и оттаянных тканей яичников как эмбрионального, так и постнатального происхождения в качестве будущих трансплантатов. Успех использования донорского репродуктивного материала в значительной степени зависит от подготовки (стерилизации) реципиентов. В ведущих мировых лабораториях достигнуты впечатляющие результаты по получению потомства сельскохозяйственных птиц обоих полов при использовании донорского репродуктивного материала. В представленном обзоре освещается достигнутый прогресс в развитии комплекса технологий в области сохранения и использования репродуктивного материала птиц *in vitro*: эмбриональных клеток, донорских тканей яичников, трансплантации тканей реципиентам. Развитие биотехнологий для манипуляций с донорским материалом самок птиц будет способствовать достижению целей мирового научного сообщества по предотвращению утраты биологического разнообразия сельскохозяйственных птиц и в дальнейшем найдет применение при восстановлении пород и видов птиц, находящихся на сегодняшний день в состоянии риска исчезновения. Дополнительным аргументом значимости развития данных технологий является значительное экономическое преимущество при реконструкции исчезающих пород, по сравнению с использованием только криоконсервированного семени при проведении многократного возвратного скрещивания с близкой по фенотипу породой.

Ключевые слова: птица, сохранение биоразнообразия, криоконсервация гамет, яичники, трансплантация, доноры, реципиенты, PGCs, GGCs.

INNOVATIVE REPRODUCTIVE TECHNOLOGIES FOR *IN VITRO* PRESERVATION AND UTILIZATION OF FEMALE GAMETES FROM DOMESTIC BIRDS (REVIEW)

Yu.L. Silyukova, O.I. Stanishevskaya

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Saint Petersburg, Russia

E-mail: svadim33@mail.ru

Abstract. The swift reduction in the biodiversity of farm birds and their wild relatives necessitates the development of effective *in vitro* preservation methods. Creation of cryobanks for long-term storage of avian reproductive cells represents a relevant strategic solution to this problem. However, to date, effective protocols for cryogenic preservation have been developed for bird spermatozoa only. Egg cryopreservation in birds remains impossible, which leads to loss of genetic information, namely nuclear and mitochondrial DNA of female birds. The utilization of the latest advances in production and cultivation of primordial germ cells (PGCs) and embryonic gonadal germ cells (GGCs) is a viable alternative for preserving the gene pool of birds. The advantage of protocols

using GGCs is the early determination of the donor's sex and targeted *in vitro* preservation of female reproductive material. Furthermore, there is a possibility of low-temperature intraovarian preservation of female bird gametes. The use of frozen-thawed ovarian tissues of both embryonic and postnatal origin as future transplants is being actively developed. The success of using donor reproductive material largely depends on the recipient preparation (sterilization). The world's leading laboratories have achieved impressive results in producing offspring of both sexes using donor reproductive material. This review highlights the progress made in the developing technologies for the *in vitro* preservation and use of avian reproductive material: embryonic cells, donor ovarian tissues, and tissue transplantation to recipients. The development of biotechnological methods for manipulation with donor material of female birds will contribute to achieving the goal of the world scientific community, which is to prevent the loss of biodiversity of domestic birds, and will be further applied in the restoration of avian breeds and species that are currently at risk of extinction. An additional argument for the importance of developing these technologies is the significant economic advantage in reconstructing endangered breeds, compared to using only cryopreserved semen when conducting multiple backcrosses with a breed close in phenotype.

Keywords: poultry, biodiversity conservation, gamete cryopreservation, ovaries, transplantation, donors, recipients, PGCs, GGCs.

Широкое использование вспомогательных репродуктивных технологий в современном животноводстве позволяет быстро улучшать генетический потенциал стад за счет размножения особей с высокой племенной ценностью. Этому способствуют хорошо разработанные технологии низкотемпературной консервации и последующего использования семени, яйцеклеток и эмбрионов. Кроме того, эти технологии применяются и для сохранения генофонда пород [1]. В современном промышленном птицеводстве, которое является стратегически значимой отраслью животноводства, также используются вспомогательные репродуктивные технологии, в частности, искусственное осеменение кур и самок других видов сельскохозяйственных птиц исходных линий индивидуальными эякулятами; созданы различные варианты сред для разбавления семени самцов [2, 3]. Технологии криоконсервации семени птиц достаточно хорошо разработаны с учетом их видовых особенностей, однако, за редким исключением, не находят практического применения в промышленном птицеводстве из-за высокого эффекта селекции на поколение отбора – нецелесообразно использовать самцов от предыдущих поколений. Однако для сохранения генофонда сельскохозяйственных птиц (редких и исчезающих пород и промышленных линий) криоконсервация семени является основным методом. Разработка программ сохранения и стратегии защиты местных пород сельскохозяйственных птиц является важной задачей при решении проблемы исчезновения редких пород кур. В настоящее время во многих странах мира созданы криобанки семени разных видов птицы, банки ДНК, разработаны генетические паспорта пород кур, ДНК-тест контроля происхождения потомства. Но остается открытой проблема долговременного сохранения репродуктивных клеток самок птиц.

В контексте сохранения *in vitro* генетических ресурсов сельскохозяйственных птиц и биоразнообразия диких видов, полилецитальное строение яйцеклетки птиц и развитие эмбриона вне тела матери является серьезным препятствием для криоконсервации гамет самок птиц и их дальнейшего использования. В настоящее время этот метод принято считать неприемлемым для сохранения генофонда птиц. Как следствие, большой проблемой является невозможность сохранения ядерной и митохондриальной ДНК самок, которая несет в себе значимую часть генетической изменчивости.

Возможным вариантом решения проблемы может стать технология криоконсервации фрагментов яичников птиц на разных стадиях онтогенеза с целью их дальнейшей трансплантации реципиентам или извлечения гонадных зародышевых клеток после интраовариальной криоконсервации. Исследования в данном направлении уже ведутся в некоторых лабораториях мира.

Использование всего спектра инновационных технологий по использованию и хранению репродуктивного материала сельскохозяйственных птиц будет не только способствовать сохранению биоразнообразия, но и иметь экономическое и временное преимущество при реконструкции пород сельскохозяйственных птиц. Так, по данным F.G. Silversides et al. (2012), использование и мужских, и женских клеток позволит восстановить поголовье исчезающей породы в 50 голов кур за 43 недели; при использовании только семени для такой же численности потребуется минимум три года. При этом стоимость реконструкции с использованием половых клеток двух типов будет 2,8 раза ниже [4].

Целью данной статьи является всесторонний обзор проведенных исследований в области сохранения *in vitro* репродуктивного материала самок сельскохозяйственных и других видов птиц, их дальнейшей трансплантации и возможности получения потомства от самок-доноров.

Строение и развитие яичников самок птиц. Для полного понимания сложности решения проблемы криоконсервации женских гамет птиц обратимся к информации по формированию яичников птиц в онтогенезе. Репродуктивная система самок птиц уникальна. Уже в период эмбрионального развития самки начинается редукция правого яичника, что вероятно, связано с необходимостью облегчения тела птицы для полета. У большинства птиц сохраняется только левый яичник и яйцевод, в то время как правый обычно рудиментарен или отсутствует. Асимметричное развитие гонад проявляется уже с 5,5–6 сут развития эмбриона кур. Развитие яичника стимулируется эстрогеном, который способствует развитию коры яичника в левой гонаде. В свою очередь, в правой половой железе самки кора не развивается из-за отсутствия экспрессии гена рецептора эстрогена. Развитие яичников домашней курицы в эмбриональный период стартует примерно через 72 ч инкубации. Наружный корковый слой левого яичника заметно увеличивается после шестого дня, а правый яичник начинает регрессировать [5]. После семи с половиной дней инкубации половые различия в развитии гонад становятся очевидными на макроскопическом уровне (рис. 1, 2).

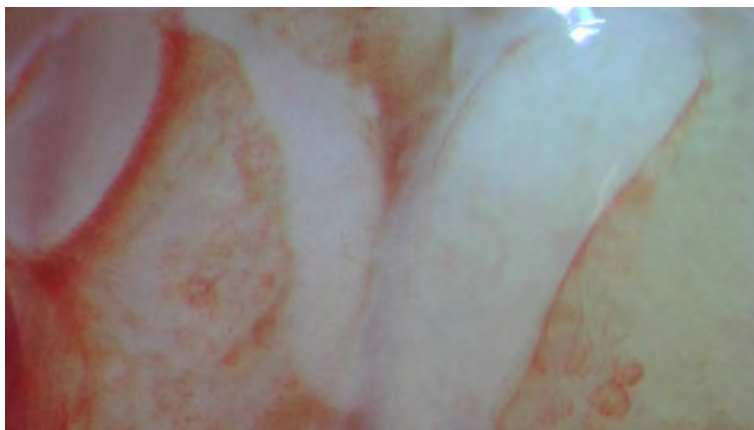


Рис. 1. Развитие яичников курицы: левый яичник эмбриона на 11-е сут
Development of the chicken ovaries: the left ovary of the embryo on the 11th day

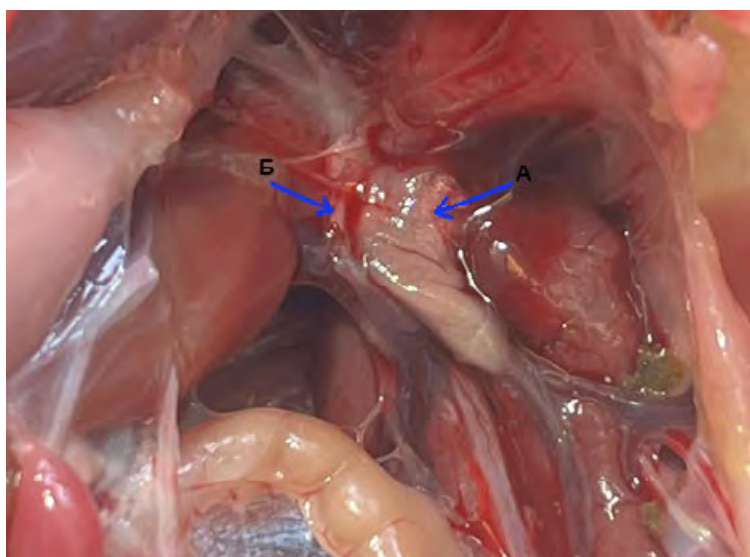


Рис. 2. Правый рудиментированный яичник курицы в возрасте одной недели жизни
Right rudimentary ovary of a one-week-old chicken

У кур в 4-недельном возрасте строение яичников представлено мозговым и корковым веществом, где большую часть занимает последнее. В корковом слое находятся многочисленные фолликулы в различных стадиях роста. Мозговое вещество отличается наличием развитых кровеносных сосудов, нервных волокон и узлов (рис. 3) [6]. Увеличение представлено на рисунке в масштабе 8 мкм.

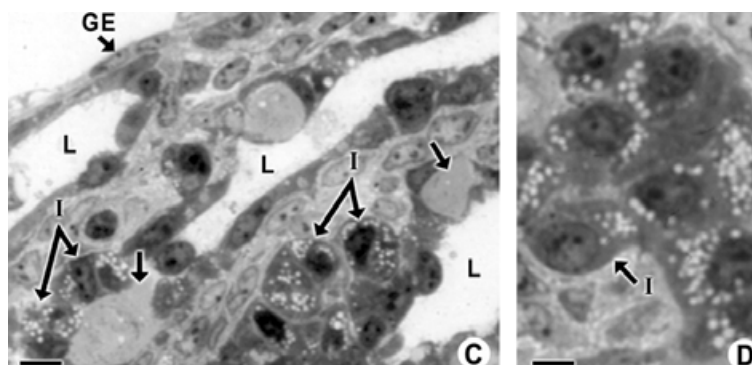


Рис. 3. Микрофотография гистологического препарата правого яичника 4-недельной курицы: GE – зародышевый эпителий, L – лакунарные каналы, I – интерстициальные клетки, → – зародышевые клетки

Micrograph of a histological specimen of the right ovary of a 4-week-old chicken. GE – germinal epithelium, L – lacunar canals, I – interstitial cells, → – germ cells

Гистологическая картина яичника кур до начала активной яйцекладки не демонстрирует четкого разделения на мозговой и корковый слой, однако слои различимы на препаратах яичников самок птиц на пике яйцекладки [7]. Также в строении яичников многих видов птиц, особенно перелётных, проявляются сезонные изменения, и в период гона их размер и активность меняется. Интервал между овуляциями варьирует в зависимости от вида, а размер кладки у разных видов определяет общее количество овуляций за сезон размножения у диких птиц [8].

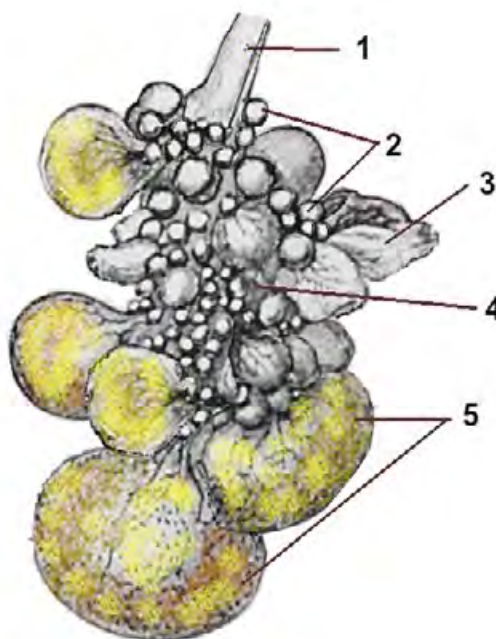


Рис. 4. Яичник курицы: 1 – связка (ножка яичника); 2 – незрелый фолликул; 3 – соединительная ткань фолликула после овуляции (регрессия постовуляторного фолликула); 4 – тело яичника; 5 – предовуляторный фолликул

Chicken ovary: 1 – ligament (ovarian stalk); 2 – immature follicle; 3 – connective tissue of the follicle after ovulation (regression of the postovulatory follicle); 4 – body of the ovary; 5 – preovulatory follicle

Яичник половозрелой курицы состоит из многочисленных фолликулов в различной стадии развития, однако не каждый достигает зрелости и дает начало яйцу. Примордиальные и первичные фолликулы имеют диаметр менее 1 мм и находятся в состоянии стаза и медленного роста [9]. Преовуляторные (доминантные) фолликулы выступают за пределы поверхностных тканей яичника, связаны с ним тонкой ножкой с сосудистой системой и нервными волокнами (рис. 4). На данном этапе развития иерархических фолликулов яйцеклетки характерно отложение липидов и протеинов желтка и формирование зрелой яйцеклетки, обычно такая иерархия состоит из 7–10 фолликулов.

К 120–150-суточному возрасту у кур наступает половое созревание, в яичнике к данному этапу онтогенеза содержится несколько сотен белых кортикальных фолликулов диаметром от 1 до 5 мм, несколько маленьких желтых фолликулов диаметром 5–8 мм и несколько крупных желтых преовуляторных фолликулов диаметром 9–40 мм. Размер яичника в данном возрасте составляет 20–30 г, в зависимости от размера несушки. Диаметр зрелого фолликула составляет до 30 мм, а масса перед овуляцией может достигать от 10 до 18 г [9, 10].

В яичнике курицы в период активной кладки выделяют несколько стадий развития: первичные фолликулы – фолликулы, которые еще не начали расти; фолликулы в фазе роста; зрелые фолликулы; раскрывшиеся фолликулы; атретические фолликулы – фолликулы с признаками апоптоза.

Стратегия выбора донорского материала самок птиц и этапа органа-трансплантата в онтогенезе. В зависимости от выбранного методического подхода к сохранению женских гамет птиц *in vitro* определяется стадия онтогенеза для забора донорского материала и вид тканей. Это могут быть различные стадии эмбрионального развития, ранний постнатальный период и даже период продуктивности; первичные половые клетки, полученные из кровеносного русла ранних эмбрионов, гонадные зародышевые клетки эмбрионов, ткани гонад для интраовариальной криоконсервации гамет или для последующей аллотрансплантации.

Криоконсервация и трансплантация PGCs и GGCs. При использовании эмбриональных тканей набирают оборот исследования, посвященные выделению, культивированию и замораживанию первичных половых клеток (PGCs) [11]. PGCs присутствуют в эмбрионе к моменту формирования первичной полоски и находятся в вентральной части слоя эпибласта. Примечательно, что у кур развивается два различных типа стволовых клеток: первый направлен на развитие половых клеток, а второй – эмбриональных стволовых клеток, что вносит вклад в развитие соматических тканей. Начало инкубации в течение 18 ч характеризуется миграцией PGCs в зародышевый диск [12]. Эмбрионы кур на первой фазе преовуляторного развития обычно считаются недифференцированными и содержащими равнопотенциальные клетки, морфологические вариации которых отражают их клеточную неоднородность и гетерогенность пролиферации. В отсутствие использования генов-маркеров для определения пола эмбриона это может создавать в дальнейшем некоторые помехи при использовании клеток для колонизации в эмбрионах-донорах, т.е. получение особей непрограммируемого пола [12].

Весьма оптимистичные прогнозы по использованию клеток PGCs при восстановлении породы или линии даны S. Nandi et al. (2016); авторы утверждают, что за несколько месяцев можно создать достаточное количество линий половых клеток, чтобы восстановить племенную популяцию традиционной (аборигенной) породы кур [13].

По мнению Y. Nakamura et al. (2010) и N. Hamai et al. (2023), первичные зародышевые клетки, эмбриональные предшественники гамет, являются лучшими кандидатами для криоконсервации зародышевой плазмы кур [14, 15]. Исследователям удалось достичь восстановления жизнеспособных PGCs после замораживания-оттаивания на уровне до 63,9 %. Также было отмечено, что показатели восстановления жизнеспособности оттаянных прогениторных клеток были сопоставимы с показателями жизнеспособности свежевыделенных нативных прогениторных клеток. Кроме того, были представлены результаты по получению потомства после внутрисосудистой трансплантации замороженных и оттаянных PGCs.

Для криоконсервации PGCs существует два протокола быстрого и медленного замораживания. В эксперименте при сравнительном использовании классического метода медленного замораживания и метода витрификации стабильной линии первичных половых клеток (PGCs), полученных от кур породы Ardenaise, показана сохранность их жизнеспособности сразу после оттаивания, близкая к 80 % для обоих методов криоконсервации [16], что, возможно, объясняется их структурным и криобиологическим сходством с соматическими клетками.

Однако использование PGCs для последующего восстановления генофонда остается технически сложным процессом, требующим подготовки высококвалифицированного персонала, дорогостоящего оборудования и специализированных помещений [16]. Но следует отметить, что такие протоколы с использованием PGCs могут быть эффективны при проведении молекулярно-генетических манипуляций с породами и популяциями, когда требуется очень небольшое количество особей, однако они слишком сложны и неэффективны для восстановления популяции [17].

Кроме того, следует отметить, что эксперименты с использованием метода трансплантации первичных половых клеток большей частью были успешны на мужских особях. Вероятно, это связано с определенной специфичностью мужских половых клеток – возможностью их деления в течение всего репродуктивного периода самца, в отличие от женских половых клеток, пролиферация которых заканчивается в эмбриональном периоде, и их конечная популяция достигается к моменту вылупления. Так, например, J. Mucksová et al. (2019) через 15–18 недель после трансплантации PGCs, полученные от эмбрионов китайской шелковой породы, в семенники взрослых петухов продемонстрировали восстановление сперматогенеза у петухов-реципиентов породы белый леггорн и получение здорового потомства китайской шелковой породы [18]. Полученные результаты указывают на перспективу использования прогениторных клеток при сохранении исчезающих видов птиц и поддержании генетического разнообразия домашней курицы.

Здесь же важно упомянуть о представленном исследовании по использованию эктопических первичных половых клеток – *ectopic PGCs*, находящихся в эмбрионе вне их обычного расположения в гонадах. Был разработан и представлен протокол для *in vitro* получения и пролиферации тканевых PGCs фазанов, который позволяет сохранять характерные для половых клеток свойства, что является важным для сохранения зародышевой плазмы диких видов птиц и создания химер [19].

Зародышевые клетки PGCs кур циркулируют в крови и колонизируют эмбриональные гонады примерно на 24 стадии (по Гамбургеру и Гамильтону). После колонизации зародышевые клетки активно пролиферируют и дифференцируются половым диморфным образом в GGCs [20]. Зародышевые гонадные половые клетки (сперматогонии или оогонии) могут стать объектом криоконсервации и последующей трансплантации в половозрелых реципиентов с удаленными на ранних стадиях онтогенеза эндогенными зародышевыми половыми клетками.

Отмечается, что интраовариальная витрификация GGCs имеет преимущество над замораживанием диссоциированных клеток [21].

Проведенное исследование T. Hu et al. (2022, 2024) подтверждает возможность использования эмбриональных гонад кур на 9–10-й день инкубации яиц, когда мужские и женские гонады визуально отличаются по морфологии для выделения GGCs. Авторами было проведено замораживание, а затем выделение GGCs из оттаянных гонад, было определено, что GGCs могут свободно высвобождаться из целых гонадных тканей 9–10-дневных эмбрионов при инкубации в теплом PBS (фосфатный буфер) при температуре 37 °C. Отмечено преимущество культивирования GGCs из целых гонадных тканей в том, что процесс менее трудозатратный и подходит для культивирования клеток большого числа эмбрионов [16, 21]. Выделенные гонадные клетки инъецировали эмбрионам-реципиентам на стадии 16 (по Гамбургеру и Гамильтону), и было получено значительное количество потомков обоих полов.

Трансплантация нативной ткани яичников птиц. Одной из предпосылок для разработки методов криоконсервации женских гонад кур стала успешно апробированная хирургическая методика трансплантации нативной яичниковой ткани суточных цыплят (Song et al., 2006) [23], была продемонстрирована возможность получения потомства от донорских тканей. В последующих своих исследованиях Song Y и Silversides FG (2007, 2008) доказали эффективность предложенного метода трансплантации яичниковой ткани: за 18 мес. кладки было получено до 396 яиц от каждого реципиента после трансплантации, от 50 до 98 % полученного потомства было донорским [24, 25]. Значительные достижения в разработке метода пересадки тканей яичников и семенников, полученных от суточных цыплят, цыплятам-реципиентам достигнуты в Институте исследований мелких животных и координационном центре по сохранению генов (Institute for Small Animal Research and Co-ordination Centre for Gene Conservation, Isaszegi u. 200, H-2100 Godollo, Hungary). Было установлено, что успех трансплантации зависит от выбора породы кур в качестве донора или реципиента в определенных комбинациях [26].

Возможность трансплантации тканей яичников сельскохозяйственных птиц, в частности индеек, была подтверждена экспериментами G.B. Hall et al. (2020). Фрагменты ткани яичников, полученные от самок в возрасте от 1 до 15 сут, культивировали на хориоаллантоисной мембране эмбрионов и оценивали их выживаемость по уровню апоптоза и размеру примордиальных и первичных фолликулов. Эксперимент показал, что 100 % трансплантатов были жизнеспособными, уровень апоптоза был 0,8 %, а средний размер диаметра фолликулов увеличился [27].

В последующих исследованиях G.B. Hall et al. (2022) изучали важный аспект трансплантации – иммунологическую совместимость, возможное отторжение тканей-доноров и использование иммунодепрессантов для снижения лимфоцитарной инфильтрации трансплантата [28, 29]. Было установлено, что уровень иммунного ответа может значительно снизить приживаемость трансплантата и во многом зависит от генетического фона [30].

Важной частью метода трансплантации тканей яичников является подготовка птиц-реципиентов. При подготовке реципиентов могут быть применены химические (бусульфан) и физические (гонадозктомия, облучение) методы воздействия для истощения эндогенных половых клеток. Наиболее привлекательным при подготовке птиц-реципиентов является использование бусульфана. Бусульфан эмульгируют с кунжутным маслом и вводят непосредственно в желток будущего реципиента. Поскольку плотность этой эмульсии ниже, чем у желтка, эмбрион, находящийся в верхней части желтка, подвергается воздействию бусульфана. При использовании такого метода стерилизации эндогенные прогениторные клетки почти полностью (>95 %) уничтожаются [31]. У других авторов тератогенное воздействие бусульфана показало уровень выживаемости эмбрионов до 61,85 %, в этом же исследовании авторы утверждают, что после воздействия бусульфана происходит восстановление половых клеток, которое тесно связано с переходом в следующую фазу клеточного цикла развития эмбриона [32].

Во многом эффективно зарекомендовало себя удаление яичника реципиента как полное, так и частичное (от 33 до 100 %). Однако наиболее эффективным для последующей трансплантации оказалось полное удаление яичника у реципиента [29].

Криоконсервация ткани постэмбриональных гонад кур. В исследованиях F.G. Silversides et al. (2013) описывается процедура витрификации тканей яичников кур, японских перепелок и чилийских тинаму, содержащихся в Исследовательском центре Агассиса (Agassiz Research Center, Agriculture and Agri-Food Canada, Agassiz, British Columbia, Canada) [17]. Исследователи демонстрируют возможность витрификации тканей гонад по методу, описанному Liu et al. (2010, 2012) [33, 34], для их сохранения в национальных криобанках. Авторы выражают мнение, что при развитии технологии трансплантации гонад сохраненный генетический материал будет способствовать восстановлению пород и даже видов сельскохозяйственных птиц. Криоконсервации подвергались гонады суточных цыплят, всего в ходе проведенных экспериментов было заложено на длительное хранение, с учетом рекомендаций FAO (2012), 2667 образцов яичников от 20 популяций линий кур, белогрудой и инбредной перепелки, а также чилийской тинаму [35].

В 2017 г. представлено исследование по криоконсервации тканей гонад кур-несушек в возрасте 6 мес. [36]. Показано использование различных криопротекторных компонентов – этиленгликоля (EG), пропиленгликоля (PROH) и диметилсульфоксида (DMSO). Результаты криоконсервации оценивали по состоянию примордиальных и первичных фолликулов после оттаивания. Исследователи отмечают успешное сочетание криопротекторов EG + DMSO при витрификации женских гонад кур, которые обеспечивают эффективную защиту примордиальных и первичных фолликулов во время хранения, и рекомендуют его к использованию для хранения тканей гонад птиц *in vitro*.

Описана успешная аллотрансплантация замороженных и оттаянных тканей гонад венгерских генофондных пород кур Yellow (желтая), Speckled (пестрая) и Partridge-color (куропатчатая) Hungarian (венгерская), Black (черная) и Speckled (пестрая) Transylvanian Naked Neck (трансильванская голошейная) с различными показателями результативности, которая, в зависимости от генотипа и пола, составила от 20 до 100 %. Гистологические исследования и анализ микросателлитных маркеров подтвердили, что донорские ткани яичников и семенников способны вырабатывать гаметы. От 9,1 % кур получено потомство от доноров, что подтверждено фенотипическими данными по цвету оперения и результатами молекулярно-генетического анализа [37].

Опубликованы результаты исследования по использованию протоколов криоконсервации яичников кур в активном продуктивном периоде – в возрасте одного года жизни. Особенностью подготовки гонад кур для последующей криоконсервации было удаление фолликулов крупнее 2 мм, а ткань яичников была разделена на несколько фрагментов. В качестве криопротекторов использовали комбинацию EG и DMSO. Гистологическая оценка витрифицированных тканей после оттаивания показала наличие структурно неповрежденных фолликулов с визуально здоровыми ядрами на уровне до 68,9 % [38]. Такой протокол хранения куриных яичников при низких температурах защищает фолликулы и может стать основой для создания протокола биобанкирования тканей яичников с целью интраовариального сохранения женских гамет диких птиц, находящихся под угрозой исчезновения.

Эффективность криоконсервации и последующей трансплантации тканей гонад самок суточного возраста была изучена и на домашних гусях. Криоконсервацию осуществляли по методу витрификации. В качестве доноров использовали гусят венгерской породы, а реципиентами были гуси породы Grey Landes geese. Эффективность пересадки тканей яичников оценивали после получения потомства, которое составило до 58 % от доноров оттаянных гонад [39].

ВЫВОДЫ

1. Криоконсервация и последующая трансплантация оттаянных тканей яичников и/или первичных зародышевых клеток птиц являются сложными высокотехнологичными процедурами, требующими серьезной профессиональной подготовки исполнителей, но имеющими огромный потенциал в плане сохранения биоразнообразия сельскохозяйственных птиц и их диких сородичей. На сегодняшний день уровень проводимых в данном направлении общемировых исследований пока не позволяет рекомендовать разрабатываемые протоколы для широкого практического использования, но поэтапность внедрения данного метода сохранения репродуктивного материала самок сельскохозяйственных птиц не должна уменьшать его значимости. Каждое проведенное исследование приближает перспективы практического использования донорских женских гонад птиц, сохраняемых в условиях *in vitro*, для последующей трансплантации в целях глобального полноценного сохранения многообразия пород и видов птиц.

2. Представленные инновационные подходы при работе с репродуктивным материалом для последующего использования при трансплантации репродуктивных половых клеток реципиентам в дальнейшем будут способствовать восстановлению баланса генетического разнообразия редких и находящихся под угрозой исчезновения сельскохозяйственных птиц, а в перспективе и диких видов.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме ГЗ № FGGN-2024-0014.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Selection and Conservation of Gametes and Embryos for Improving Assisted Reproductive Technologies* / A. Gambini, I. Ortiz, M. Hidalgo [et al.] // *Animals*. – 2023. – Vol. 13. – P. 2761. – DOI:10.3390/ani13172761.
2. *Effects of saccharides supplementation in the extender of cryopreserved rooster (Gallus domesticus) semen on the fertility of frozen/thawed spermatozoa* / O. Stanishevskaya, Y. Silyukova, N. Pleshanov [et al.] // *Animals*. – 2021. – Vol. 11(1). – P. 1–9.
3. *Role of mono- and disaccharide combination in cryoprotective medium for rooster semen to ensure cryoresistance of spermatozoa* / O. Stanishevskaya, Y. Silyukova, N. Pleshanov [et al.] // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26(19). – P. 5920. DOI: 10.3390/molecules26195920.
4. *Silversides F.G., Purdy P.H., Blackburn H.D.* Comparative costs of programmes to conserve chicken genetic variation based on maintaining living populations or storing cryopreserved material // *British Poultry Science*. – 2012. – Vol. 53(5). – P. 599–607. – DOI: 10.1080/00071668.2012.727383.
5. *Johnson A.L.* The avian ovary and follicle development: some comparative and practical insights // *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*. – 2014. – Vol. 38 (6). – P. 660–669. – DOI: 10.3906/vet-1405-6.
6. *González-Morán M.G.* Histological and Stereological Changes in Growing and Regressing Chicken Ovaries During Development // *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*. – 2011. – Vol. 294(5). – P. 893–904. – DOI: 10.1002/ar.21364.
7. *Перинек О.Ю., Волкова Н.А., Гагиева З.В.* Гистологическое исследование яичников кур мясо-яичной породы // *Птицеводство*. – 2025. – № 1. – С. 49–55. – DOI: 10.33845/0033-3239-2025-74-1-49-55.

8. Gupta A., Kapoor K. Avian ovary: a unique dynamic reproductive organ // International Journal of Avian & Wildlife Biology. – 2024. – Vol. 8(2). – P. 77–78. – DOI: 10.15406/ijawb.2024.08.00217.
9. Ovarian dynamics and follicle development. In: Jamieson B.G.M., editor. / A.L. Johnson, D.C. Woods // Reproductive Biology and Phylogeny of Birds. Vol. 6A. Science Publishers; Enfield, NH, USA: 2007. – P. 243–277.
10. Histology of the Ovary of the Laying Hen (*Gallus domesticus*) / K.D. Apperson, K.E. Bird, G. Cherian [et al.] // Veterinary Science. – 2017. – Vol. 4(4). – P. 66. – DOI: 10.3390/vetsci4040066.
11. The Effects of Freezing Media on the Characteristics of Male and Female Chicken Primordial Germ Cell Lines / A. Ecker, B. Lázár, R.I. Tóth [et al.] // Life. – 2023. – Vol. 13. – P. 867. – DOI: 10.3390/life13040867.
12. Cellular analysis of cleavage-stage chick embryos reveals hidden conservation in vertebrate early development / H. Nagai, M. Sezaki, K. Kakiguchi [et al.] // Development. – 2015. – Vol. 42(7). – P. 1279–1286. – DOI: 10.1242/dev.118604.
13. Cryopreservation of specialized chicken lines using cultured primordial germ cells / S. Nandi, J. Whyte, L. Taylor [et al.] // Poultry Science. – 2016. – Vol. 95(8). – P. 1905–1911. – DOI: 10.3382/ps/pew133.
14. Germline Replacement by Transfer of Primordial Germ Cells into Partially Sterilized Embryos in the Chicken / Y. Nakamura, F. Usui, T. Ono [et al.] // Biology of Reproduction. – 2010. – Vol. 83(1). – P. 130–137. – DOI: 10.1095/biol-reprod.110.083923.
15. Development of cryopreservation media for the slow-freezing of cultured primordial germ cells in chicken / N. Hamai, C. Koide, Y. Tansho [et al.] // Journal of Reproduction and Development. – 2023. – Vol. 69(2). – P. 109–117. – DOI: 10.1262/jrd.2022-123.
16. Cryopreservation of chicken primordial germ cells by vitrification and slow freezing: A comparative study / C. Tonus, D. Connan, O. Waroux [et al.] // Theriogenology. – 2017. – Vol. 88. – P. 197–206. – DOI: 10.1016/j.theriogenology.2016.09.022.
17. Silversides F.G., Robertson M.C., Liu J. Cryoconservation of avian gonads in Canada // Poultry Science. – 2013. – Vol. 92(10). – P. 2613–2617. – DOI: 10.3382/ps.2013-03185.
18. Conservation of chicken male germline by orthotopic transplantation of primordial germ cells from genetically distant donors / J. Mucksová, M. Reinišová, J. Kalina [et al.] // Biology Reproduction. – 2019. – Vol. 101(1). – P. 200–207. – DOI: 10.1093/biolre/iox064.
19. Primordial germ cells isolated from individual embryos of red junglefowl and indigenous pheasants of Thailand / S. Chaipipat, S. Prukudom, K. Sritabtim [et al.] // Theriogenology. – 2021. – Vol. 165. – P. 59–68. – DOI: 10.1016/j.theriogenology.2021.02.010.
20. The dynamic development of germ cells during chicken embryogenesis / S.Y. Yang, H.J. Lee, H.C. Lee [et al.] // Poultry Science. – 2018. – Vol. 97. – P. 650–657. – DOI: 10.3382/ps/pex316.
21. Direct in vitro propagation of avian germ cells from an embryonic gonad biorepository / T. Hu, P.H. Purdy, M.H. Blank [et al.] // Poultry Science. – 2024. – Vol. 103(11). – P. 104260. – DOI: 10.1016/j.psj.2024.104260.
22. A low-tech, cost-effective and efficient method for safeguarding genetic diversity by direct cryopreservation of poultry embryonic reproductive cells / T. Hu, L. Taylor, A. Sherman [et al.] // eLife. – 2022. – Vol. 11. – P. e74036. – DOI: 10.7554/eLife.74036.
23. Song Y., Silversides F.G. The technique of orthotopic ovarian transplantation in the chicken // Poultry Science. – 2006. – Vol. 85(6). – P. 1104–1106. – DOI: 10.1093/ps/85.6.1104.
24. Song Y., Silversides F.G. Transplantation of ovaries in Japanese quail (*Coturnix japonica*) // Anim Reprod Sci. – 2008. – Vol. 105(3–4). – P. 430–437. – DOI: 10.1016/j.anireprosci.2007.12.024.
25. Song Y., Silversides F.G. Long-term production of donor-derived offspring from chicken ovarian transplants // Poultry Science. – 2008. – Vol. 87(9). – P. 1818–1822. – DOI: 10.3382/ps.2008-00103.
26. Preliminary results of the application of gonadal tissue transfer in various chicken breeds in the poultry gene conservation / K. Liptoi, G. Horvath, J. Gal [et al.] // Anim Reprod Sci. – 2013. – Vol. 141(1–2). – P. 86–89. – DOI: 10.1016/j.anireprosci.2013.06.016.
27. In ovo culturing of turkey (*Meleagris gallopavo*) ovarian tissue to assess graft viability and maturation of prefollicular germ cells and follicles / G.B. Hall, J.A. Long, B.J. Wood [et al.] // Poultry Science. – 2020. – Vol. 99(12). – P. 7109–7121. – DOI: 10.1016/j.psj.2020.09.014.
28. Cyclosporin A prevents ovarian graft rejection, and permits normal germ cell maturation within the first 5 weeks post-transplantation, in the domestic turkey (*Meleagris gallopavo*) / G.B. Hall, J. Beeler-Marfisi, J.A. Long [et al.] // Frontiers in Veterinary Science. – 2022. – Vol. 9. – P. 855164. – DOI: 10.3389/fvets.2022.855164.
29. Turkey ovarian tissue transplantation: effects of surgical technique on graft attachment and immunological status of the grafts, 6 days post-surgery / G.B. Hall, J.A. Long, L. Susta [et al.] // Poultry Science. – 2022. – Vol. 101(3). – P. 101648. – DOI: 10.1016/j.psj.2021.101648.
30. Major histocompatibility complex-b haplotype and ovarian graft response / C.C. Quach, J.E. Fulton, J.D. Benson [et al.] // Poultry Science. – 2023. – Vol. 102(9). – P. 102850. – DOI: 10.1016/j.psj.2023.102850.

31. *Increased* proportion of donor primordial germ cells in chimeric gonads by sterilisation of recipient embryos using busulfan sustained-release emulsion in chickens / Y. Nakamura, Y. Yamamoto, F. Usu [et al.] // *Reproduction, Fertility and Development*. – 2008. – Vol. 20(8). – P. 900–907. – DOI: 10.1071/rd08138.
32. *Compensatory* proliferation of endogenous chicken primordial germ cells after elimination by busulfan treatment / H. Lee, S. Kim, T. Park [et al.] // *Stem Cell Research and Therapy*. – 2013. – Vol. 4(6). – P. 136. – DOI: 10.1186/scrt347.
33. Liu J., Cheng K.M., Silversides F.G. Novel needle-in-straw vitrification can effectively preserve the follicle morphology, viability, and vascularization of ovarian tissue in Japanese quail (*Coturnix japonica*) // *Animal Reproduction Science*. – 2012. – Vol. 134(3–4). – P. 197–202.
34. Liu J., Cheng K.M., Silversides F.G. A simple vitrification method for cryobanking avian testicular tissue // *Poultry Science*. – 2012. – Vol. 91(12). – P. 3209–3213. – DOI: 10.3382/ps.2012-02454.
35. FAO, 2012. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/4/i3028e/i3028e.pdf> (дата обращения: 10.04.2025).
36. *Ethylene* glycol and dimethyl sulfoxide combination reduces cryoinjuries and apoptotic gene expression in vitrified laying hen ovary / R. Nateghi, A. Alizadeh, Y. Jafari Ahangari [et al.] // *Biopreservation and Biobanking*. – 2017. – Vol. 15(6). – P. 519–528. – DOI: 10.1089/bio.2017.0078.
37. *Improvement* of the application of gonadal tissue allotransplantation in the in vitro conservation of chicken genetic lines / K. Liptoi, K. Buda, E. Rohn [et al.] // *Anim Reprod Sci*. – 2020. – Vol. 213. – P. 106280. – DOI: 10.1016/j.anireprosci.2020.106280.
38. *Cryopreservation* Competence of Chicken Oocytes as a Model of Endangered Wild Birds: Effects of Storage Time and Temperature on the Ovarian Follicle Survival / M. Fujihara, J.-I. Shiraishi, M. Onuma [et al.] // *Animals*. – 2022. – Vol. 12. – P. 1434. – DOI: 10.3390/ani12111434.
39. *Orthotopic* Transplantation of Native and Cryopreserved Ovarian Tissue in Day-Old Geese / K. Buda, B. Vegi, I. Lehoczy [et al.] // *Veterinary Science*. – 2025. – Vol. 12. – P. 169. – DOI: 10.3390/vetsci12020169.

REFERENCES

1. Gambini A., Ortiz I., Hidalgo M. [et al.], Selection and Conservation of Gametes and Embryos for Improving Assisted Reproductive Technologies, *Animals*, 2023, Vol. 13, pp. 2761, DOI: 10.3390/ani13172761.
2. Stanishvskaya O., Silyukova Y., Pleshanov N. [et al.], Effects of saccharides supplementation in the extender of cryopreserved rooster (*Gallus domesticus*) semen on the fertility of frozen/thawed spermatozoa, *Anim*, 2021, Vol. 11(1), pp. 1–9.
3. Stanishvskaya O., Silyukova Y., Pleshanov N. [et al.], Role of mono- and disaccharide combination in cryoprotective medium for rooster semen to ensure cryoresistance of spermatozoa, *Molecules*, 2021, Vol. 26(19), pp. 5920, DOI: 10.3390/molecules26195920.
4. Silversides F.G., Purdy P.H., Blackburn H.D., Comparative costs of programmes to conserve chicken genetic variation based on maintaining living populations or storing cryopreserved material, *Brit Poult Sci*, 2012, Vol. 53(5), pp. 599–607, DOI: 10.1080/00071668.2012.727383.
5. Johnson A.L., The avian ovary and follicle development: some comparative and practical insights, *Turk J Vet Anim Sci*, 2014, Vol. 38 (6), pp. 660–669, DOI: 10.3906/vet-1405-6.
6. González-Morán M.G., Histological and Stereological Changes in Growing and Regressing Chicken Ovaries During Development, *Anatomical Record*, 2011, Vol. 294(5), pp. 893–904, DOI: 10.1002/ar.21364.
7. Perinek O.Y., Volkova N.A., Gagieva Z.V., Histological examination of the ovary in a universal chicken breed at different ages, *Ptisevodstvo*, 2025, Vol. 1, pp. 49–55, DOI: 10.33845/0033-3239-2025-74-1-49-55.
8. Gupta A., Kapoor K., Avian ovary: a unique dynamic reproductive organ, *Int J Avian & Wildlife Biol*, 2024, Vol. 8(2), pp. 77–78, DOI: 10.15406/ijawb.2024.08.00217.
9. Johnson A.L., Woods D.C., Ovarian dynamics and follicle development. In: Jamieson B.G.M., editor., *Reprod Biol Phyl Birds*, Vol. 6A, Science Publishers; Enfield, NH, USA: 2007, pp. 243–277.
10. Apperson K.D., Bird K.E., Cherian G., Löhr C.V., Histology of the Ovary of the Laying Hen (*Gallus domesticus*), *Vet Sci*, 2017, Vol. 4(4), pp. 66, DOI: 10.3390/vetsci4040066.
11. Ecker A., Lázár B., Tóth R.I. [et al.], The Effects of Freezing Media on the Characteristics of Male and Female Chicken Primordial Germ Cell Lines, *Life*, 2023, Vol. 13, pp. 867, DOI: 10.3390/life13040867.
12. Nagai H., Sezaki M., Kakiguchi K. [et al.], Cellular analysis of cleavage-stage chick embryos reveals hidden conservation in vertebrate early development, *Development*, 2015, Vol. 42(7), pp. 1279–1286, DOI: 10.1242/dev.118604.
13. Nandi S., Whyte J., Taylor L. [et al.], Cryopreservation of specialized chicken lines using cultured primordial germ cells, *Poult Sci*, 2016, Vol. 95(8), pp. 1905–1911, DOI: 10.3382/ps/pew133.
14. Nakamura Y., Usui F., Ono T. [et al.], Germline Replacement by Transfer of Primordial Germ Cells into Partially Sterilized Embryos in the Chicken, *Biol Reprod*, 2010, Vol. 83(1), pp. 130–137, DOI: 10.1095/biolreprod.110.083923.

15. Hamai N., Koide C., Tansho Y. [et al.], Development of cryopreservation media for the slow-freezing of cultured primordial germ cells in chicken, *J Reprod Dev*, 2023, Vol. 69(2), pp. 109–117, DOI: 10.1262/jrd.2022-123.
16. Tonus C., Connan D., Waroux O. [et al.], Cryopreservation of chicken primordial germ cells by vitrification and slow freezing: A comparative study, *Theriogenology*, 2017, Vol. 88, pp. 197–206, DOI: 10.1016/j.theriogenology.2016.09.022.
17. Silversides F.G., Robertson M.C., Liu J., Cryoconservation of avian gonads in Canada, *Poult Sci*, 2013, Vol. 92(10), pp. 2613–2617, DOI: 10.3382/ps.2013-03185.
18. Mucksová J., Reinišová M., Kalina J. [et al.], Conservation of chicken male germline by orthotopic transplantation of primordial germ cells from genetically distant donors, *Biol Reprod*, 2019, Vol. 101(1), pp. 200–207, DOI: 10.1093/biolre/iox064.
19. Chaipipat S., Prukudom S., Sritabtim K. [et al.], Primordial germ cells isolated from individual embryos of red junglefowl and indigenous pheasants of Thailand, *Theriogenology*, 2021, Vol. 165, pp. 59–68, DOI: 10.1016/j.theriogenology.2021.02.010.
20. Yang S.Y., Lee H.J., Lee H.C. [et al.], The dynamic development of germ cells during chicken embryogenesis, *Poult Sci*, 2018, Vol. 97, pp. 650–657, DOI: 10.3382/ps/pex316.
21. Hu T., Purdy P.H., Blank M.H. [et al.], Direct in vitro propagation of avian germ cells from an embryonic gonad biorepository, *Poult Sci*, 2024, Vol. 103(11), pp. 104260, DOI: 10.1016/j.psj.2024.104260.
22. Hu T., Taylor L., Sherman A. [et al.], A low-tech, cost-effective and efficient method for safeguarding genetic diversity by direct cryopreservation of poultry embryonic reproductive cells, *eLife*, 2022, Vol. 11, pp. e74036, DOI: 10.7554/eLife.74036.
23. Song Y., Silversides F.G., The technique of orthotopic ovarian transplantation in the chicken, *Poult Sci*, 2006, Vol. 85(6), pp. 1104–1106, DOI: 10.1093/ps/85.6.1104.
24. Song Y., Silversides F.G., Transplantation of ovaries in Japanese quail (*Coturnix japonica*), *Anim Reprod Sci*, 2008, Vol. 105(3–4), pp. 430–437, DOI: 10.1016/j.anireprosci.2007.12.024.
25. Song Y., Silversides F.G., Long-term production of donor-derived offspring from chicken ovarian transplants, *Poult Sci*, 2008, Vol. 87(9), pp. 1818–1822, DOI: 10.3382/ps.2008-00103.
26. Liptoi K., Horvath G., Gal J. [et al.], Preliminary results of the application of gonadal tissue transfer in various chicken breeds in the poultry gene conservation, *Anim Reprod Sci*, 2013, Vol. 141(1–2), pp. 86–89, DOI: 10.1016/j.anireprosci.2013.06.016.
27. Hall G.B., Long J.A., Wood B.J., Bedecarrats G.Y., *In ovo* culturing of turkey (*Meleagris gallopavo*) ovarian tissue to assess graft viability and maturation of prefollicular germ cells and follicles, *Poult Sci*, 2020, Vol. 99(12), pp. 7109–7121, DOI: 10.1016/j.psj.2020.09.014.
28. Hall G.B., Beeler-Marfisi J., Long J.A. [et al.], Cyclosporin A Prevents Ovarian Graft Rejection, and Permits Normal Germ Cell Maturation Within the First 5 Weeks Post-transplantation, in the Domestic Turkey (*Meleagris gallopavo*), *Front Vet Sci*, 2022, Vol. 9, pp. 855164, DOI: 10.3389/fvets.2022.855164.
29. Hall G.B., Long J.A., Susta L. [et al.], Turkey ovarian tissue transplantation: effects of surgical technique on graft attachment and immunological status of the grafts, 6 days post-surgery, *Poult Sci*, 2022, Vol. 101(3), pp. 101648, DOI: 10.1016/j.psj.2021.101648.
30. Quach C.C., Fulton J.E., Benson J.D. [et al.], Major Histocompatibility Complex-B haplotype and ovarian graft response, *Poult Sci*, 2023, Vol. 102(9), pp. 102850, DOI: 10.1016/j.psj.2023.102850.
31. Nakamura Y., Yamamoto Y., Usu F., [et al.], Increased proportion of donor primordial germ cells in chimeric gonads by sterilisation of recipient embryos using busulfan sustained-release emulsion in chickens, *Reprod Fertil Dev*, 2008, Vol. 20(8), pp. 900–907, DOI: 10.1071/rd08138.
32. Lee H., Kim S., Park T. [et al.], Compensatory proliferation of endogenous chicken primordial germ cells after elimination by busulfan treatment, *Stem Cell Res Ther*, 2013, Vol. 4(6), pp. 136, DOI: 10.1186/scrt347.
33. Liu J., Cheng K.M., Silversides F.G., Novel needle-in-straw vitrification can effectively preserve the follicle morphology, viability, and vascularization of ovarian tissue in Japanese quail (*Coturnix japonica*), *Anim Reprod Sci*, 2012, Vol. 134(3–4), pp. 197–202.
34. Liu J., Cheng K.M., Purdy P.H., Silversides F.G., A simple vitrification method for cryobanking avian testicular tissue, *Poult Sci*, 2012, Vol. 91(12), pp. 3209–13, DOI: 10.3382/ps.2012-02454.
35. FAO, 2012. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations: <https://www.fao.org/4/i3028e/i3028e.pdf>.
36. Nateghi R., Alizadeh A., Jafari Ahangari Y. [et al.], Ethylene glycol and dimethyl sulfoxide combination reduces cryoinjuries and apoptotic gene expression in vitrified laying hen ovary, *Biopreserv Biobank*, 2017, Vol. 15(6), pp. 519–528, DOI: 10.1089/bio.2017.0078.
37. Liptoi K., Buda K., Rohn E. [et al.], Improvement of the application of gonadal tissue allotransplantation in the in vitro conservation of chicken genetic lines, *Anim Reprod Sci*, 2020, Vol. 213, pp. 106280, DOI: 10.1016/j.anireprosci.2020.106280.

38. Fujihara M., Shiraishi J.-i., Onuma M. [et al.], Cryopreservation Competence of Chicken Oocytes as a Model of Endangered Wild Birds: Effects of Storage Time and Temperature on the Ovarian Follicle Survival, *Animals*, 2022, Vol. 12, pp. 1434, DOI: 10.3390/ani12111434.
39. Buda K., Vegi B., Lehoczy I. [et al.], Orthotopic Transplantation of Native and Cryopreserved Ovarian Tissue in Day-Old Geese, *Vet Sci*, 2025, Vol. 12, pp. 169, DOI: 10.3390/vetsci12020169.

Информация об авторах:

Ю.Л. Силукова, кандидат биологических наук, научный сотрудник

О.И. Станишевская, доктор биологических наук, главный научный сотрудник

Contribution of the authors:

Yu.L. Silyukova, PhD in Biology, Research Associate

O.I. Stanishevskaya, Doctor of Biological Sciences, Chief Research Associate

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ГЕНЕАЛОГИЯ И ВОСПРОИЗВОДСТВО ПОПУЛЯЦИИ ЗУБРОВ (*BISON BONASUS* L.) В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЗУБРОВОМ ПИТОМНИКЕ ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО ЗАПОВЕДНИКА

^{1,2}А.Н. Стефутин, ³Н.В. Сивкин

¹VNIIGRZH, Санкт-Петербург, Россия

²Приокско-Террасный государственный заповедник, г. Серпухов, Московская область, Россия

³ФИЦ ВИЖ им Л.К. Эрнста, городской округ Подольск, Московская область, Россия

E-mail: stefutin@inbox.ru

Для цитирования: Стефутин А.Н., Сивкин Н.В. Генеалогия и воспроизводство популяции зубров (*Bison bonasus* L.) в Центральном зубровом питомнике Приокско-Террасного заповедника // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 184–192. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-184-192.

Реферат. В статье приводится анализ генеалогии и воспроизводства популяции зубров (*Bison bonasus* L.) в Центральном зубровом питомнике Приокско-Террасного заповедника для разработки перспективной программы разведения. При создании базы данных использовали карточки учета зубров, сведения заводской книги, Международной племенной книги зубров. В относительно малочисленной популяции зубров питомника генеалогическое разнообразие ограничено десятью животными-основателями из двенадцати возможных: четырьмя быками-основателями (Plebejer, Bill, Begrunder и Kaukasus) и шестью коровами (Planta, Bilma, Plavia, Garde, Gaczyna, Plewna). Наиболее значимый вклад в генофонд популяции оказали бык Plebejer (1917 г.р.) и корова Planta (1904 г.р.). Коэффициент инбридинга племенных быков и коров составляет 12,3–12,3 и 13,0 % соответственно. В генеалогическом развитии родственных групп отцовских линий доминируют потомки Метруда 7685 и Данзо 6362, а материнских – 6715 Mutena и 6979 Mozaika, которые выделяются воспроизводительными качествами. Лидером по количеству потомков (28 голов) является бык SL-9 Августин, который в популяции питомника инбридирован на минимальную величину – 7,0 %. Коровы уступают племенным быкам сопоставимых возрастов по количеству полученных за жизнь потомков в 3,2 раза, что определяет их селекционную значимость и вклад в формирование генофонда популяции в поколениях. Центральный зубровый питомник обладает уникальным опытом и потенциалом для восстановления зубров в дикой природе. Однако долгосрочный успех зависит от комплексного подхода, сочетающего генетический мониторинг, улучшение условий содержания и активное международное взаимодействие в части пополнения генофонда. Это позволит не только сохранить, но и увеличить генетическое разнообразие популяции, обеспечив ее устойчивость в будущем.

Ключевые слова: зубр, инбридинг, линии, основатели, межотельный период.

GENEALOGICAL ANALYSIS OF THE POPULATION OF EUROPEAN BISON (*BISON BONASUS* L.) IN THE CENTRAL BISON NURSERY OF THE PRIOKSKO-TERRASNY BIOSPHERE RESERVE

^{1,2}A.N. Stefutin, ³N.V. Sivkin

¹VNIIGRZH, Saint Petersburg, Russia

²Prioksko-Terrasny State Nature Reserve, Serpukhov, Moscow Region, Russia

³FRC VIZh named after L.K. Ernst, Podolsk urban district, Moscow region, Russia

E-mail: stefutin@inbox.ru

Abstract. In the relatively small population of European bison of the Central Bison Nursery (Prioksko-Terrasny Reserve), the genealogical diversity is limited to 10 founder animals out of 12 possible: 4 founder bulls (Plebejer, Bill, Begrunder and Kaukasus) and 6 cows (Planta, Bilma, Plavia, Garde, Gaczyna, Plewna). The most significant in terms of contribution to the gene pool are the bull Plebejer (born in 1917) and the cow Planta (born in 1904). The inbreeding coefficient of breeding bulls and cows is 12.3–12.3 % and 13.0 %, respectively. In the genealogical development of related groups of paternal lines, the descendants of Metrud 7685 and Danzo 6362 dominate, and the maternal 6715 Mutena and 6979 Mozaika, which are distinguished by their reproductive qualities. The leader in the number of descendants (28 heads) is the bull SL-9 Augustin, who is inbred in the nursery population by a minimum amount - 7.0 %. An example of paternal effects with negative consequences for the viability of the offspring is the bull Murakami, who, with an inbreeding estimate of 19%, turned out to be the worst in the number of dropped out calves. Cows are inferior to breeding bulls of comparable ages, in the number

of descendants obtained during life by 3.2 times, which determines their selection significance and contribution to the formation of the gene pool of the population in generations. Prioksko-Terrasny nursery has unique experience and potential for the restoration of bison in the wild. However, long-term success depends on a comprehensive approach that combines genetic monitoring, improved housing conditions and active international cooperation in terms of replenishing the gene pool. This will not only preserve but also increase the genetic diversity of the population, ensuring its sustainability in the future.

Keywords: European bison, inbreeding, lowland-caucasian, animal founders, intercalving period

Зубр *Bison bonasus* L. – крупное копытное млекопитающее, исчезнувшее в природе в начале прошлого века. Причиной исчезновения зубра было антропогенное изменение среды обитания на значительной части ареала и прямое истребление [1]. Восстановить животное удалось только из особей, сохранившихся в зоосадах и зверинцах Германии, Польши, Швеции и России [2]. Международная перепись зубров, проведенная в 1926 г., выявила, что к тому времени сохранилось всего 52 особи [2]. В настоящее время зоологический вид *Bison bonasus* L. представлен двумя формами: зубрами равнинного беловежского подвида *B.b.bonasus* L. и зубрами кавказско-беловежской линии, имеющей в своем генофонде гены кавказского подвида зубра *B.b.caucasicus* Sat. через самца *Kaukasus 100 RZR* – единственного кавказского зубра, оставившего потомство в неволе от спаривания с самками беловежского подвида [1].

Генеалогический анализ, проведенный Слейтисом в конце 50-х гг., показал, что беловежская линия разведения происходит от семи зубров-основателей (четыре самца и три самки), а кавказско-беловежская линия – от двенадцати зубров-основателей (пять самцов и семь самок) [3, 4]. Одной из важнейших задач сохранения генетического разнообразия в популяциях с низкой эффективной численностью является оптимизация генетического планирования при племенной работе с животными [2, 5–8] с учетом особенностей репродукции зубров: регулярности отела, плодовитости и др. [9, 10].

Одной из эффективных форм восстановления популяций редких видов является разведение животных в специализированных питомниках [11–14, 7]. Центральный зубровый питомник был создан на территории Приокско-Террасного заповедника (ЦЗП) в 1948 г. с целью разведения, изучения и расселения зубра в границах исторического ареала [15]. ЦЗП является первым в России местом содержания и разведения зубров с целью восстановления диких популяций. На декабрь 2024 г. в ЦЗП содержалась 41 особь [16]. В питомнике популяция зубров развивается при относительно стабильной кормовой базе, наблюдении и уходе за животными, а также под влиянием системы разведения, включающей отбор быков и самок при формировании гуртов, а также отправку в другие питомники или дикую среду. Питомник чистокровных кавказско-беловежских зубров ставит перед собой ключевые цели: сохранение и расширение племенного фонда, выращивание молодых зубров для их расселения в природу, а также обеспечение их размножения и проведение научных исследований. Будучи закрытой системой, питомник позволяет гибко регулировать свою деятельность в соответствии со складывающейся ситуацией. Например, управлять процессами питания и размножения зубров можно через продуманный подбор племенных групп, что также дает возможность решать генетические вопросы и другие задачи.

Генеалогическая структура популяции, формируемая в поколениях в связи с вышеозначенными факторами и под влиянием адаптивных и воспроизводительных качеств животных, необходима для разработки и корректировки принимаемых селекционных решений по сохранению и восстановлению вида, что и определяет актуальность и научную новизну работы.

Целью исследования является генеалогический анализ популяции зубров в ЦЗП, включая оценку вклада в наследственность родоначальников линий, уровня инбридинга, адаптивных и воспроизводительных качества маточного поголовья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследований – популяция зубров, разводимых в полувольных условиях ЦЗП. Работа включала следующие этапы: создание базы данных в программе Microsoft Excel с использованием карточек учета зубров, сведений заводской книги ЦЗП [11] и базы данных Международной племенной книги зубров; генеалогический анализ родословных (12–15 поколений) с определением вклада родоначальников (основателей) линий и уровня инбридинга по индивидуальным данным, рассчитанным проф. О. Ванда; изучение адаптивных и воспроизводительных качеств зубров в связи

с принадлежностью к семействам, линиям и «гуртам»-загонам. Статистический анализ исходных данных выполнялся общепринятыми методами, с применением оценок уровня значимости и достоверности по критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Развитие генеалогической структуры ЦЗП восходит к изначально сформированному в 1948–1951 гг. стаду из семи зубров, поступивших из Польши, которое в полувольных условиях разведения (*ex-situ*), по типу полуконтролируемой популяции, с периодической интродукцией (до 10 %) «генеалогически свежих» генотипов из ведущих мировых центров разведения, воспроизводит генофонд, в том числе и для расселения в различных местах обитания России и за рубежом.

Современная популяция зубров ЦЗП представлена шестью быками (зубрами), восемнадцатью коровами (зубрицами) и семнадцатью телятами (зубрятами) [16, 17]. В родословных быков и коров встречаемость основателей (родоначальников), характеризующих их вклад в генофонд, представлена в табл. 1. Наиболее значимыми по этому показателю являются бык Plebejer (1917 г.р.) и корова Planta (1904 г.р.), находящиеся в 9–11 поколениях предков, на их долю в совокупности приходится 41,8 и 43,3 % наследственности племенных быков и коров популяции ЦЗП. Следующими по встречаемости в родословных являются бык Bill (1913 г.р.) и корова Bilma (1913 г.р.) с долями 14,9 и 15,6 % соответственно. В общем на четырех быков-основателей (Plebejer, Bill, Begrunder и Kaukasus) в родословных племенных быков приходится 39,2 %, а у коров – 40,2 % записей. По коровам (Planta, Bilma, Plavia, Garde, Gaczyna и Plewna) эти величины оказались 39,5 и 39,7 % соответственно.

Таблица 1

Вклад основателей (родоначальников) в генотип племенных животных ЦЗП
Contribution of founders (ancestors) to the genotype of breeding animals of the Central Zoo

Кличка основателя (родоначальника)	Племенные быки, %	Коровы, %
Planta (корова)	17,3	18,1
Plebejer (бык)	24,5	25,2
Bill (бык)	6,7	7,0
Bilma (корова)	8,2	8,6
Begrunder (бык)	5,0	4,8
Plavia (корова)	4,8	5,2
Kaukasus (бык)	3,0	3,2
Garde (корова)	3,0	2,4
Gaczyna (корова)	4,2	4,0
Plewna (корова)	2,0	1,4
Неустановленный	21,8	15,2

Динамика численности популяции и возможные отклонения в распределении особей по выживаемости и плодовитости имеют определяющее значение в воспроизводстве генофонда, развитии генеалогической структуры и нарастании инбридинга. С интервалом в поколениях связана интенсивность обновления популяции, соответствующие изменения в селекционируемых параметрах, а также результативность отбора пробандов по собственным показателям фертильности. Так, в ЦЗП временные интервалы в рождении поколений селекционных групп корова-мать и корова-отец относительно бык-мать и бык-отец соответственно меньше на 2,9 и 1,3 года, что указывает на более интенсивное обновление материнской части популяции. Коэффициент инбридинга в поколениях в среднем по предкам секционируемой группы коров составлял 16,1 %, а у племенных быков был больше на 2,55 %. Среди предков коров наибольшим уровнем инбредности характеризовались матери матерей и отцы отцов, а у племенных быков отцы матерей, отцы отцов и матери отцов (табл. 2).

Таблица 2

Интервал в поколениях и инбридинг селекционных групп
Generation interval and inbreeding of breeding groups

Предки	Коровы (n = 18)			Быки (n = 6)		
	n	Интервал поколения, года	Инбридинг, %	n	Интервал поколения, года	Инбридинг, %
Мать	17	9,40±1,04	13,3±1,07	6	12,3±1,5	14,5±2,3
Мать матери	12		22,4±4,03			12,4±1,4
Отец	11	8,48±0,68	13,6±3,66	6	9,8±1,6	12,7±6,1
Мать отца	9		14,4±2,59	5		19,8±3,2
Отец матери	11		14,0±3,62	6		28,7±7,3
Отец отца	12	9,4±0,9	18,9±5,2	6	19,8±2,4	23,8±6,6

Современные племенные быки питомника условно в возрастном аспекте разделяются на два поколения с интервалом в 10 лет. Уровень инбридинга быков этих поколений в среднем находится в пределах 12,0–12,3 %, с отклонениями от 7,0 до 19,0 % (табл. 3). В загонах нагрузка на быков изменяется в зависимости от их возраста, с пяти коров для относительно молодых (4,8 года) до трех коров для 14-летних. От племенных быков старших возрастных поколений в среднем получено по 24,7 потомка, при соотношении телочек к бычкам 1,11 : 1,0. В расчете на один год жизни племенного быка получили по 1,7 потомка, а за период использования на коровах по 2,0 головы. Лидером по количеству потомков (28 голов) является бык SL-9 Августин, который в популяции питомника инбридирован на минимальную величину – 7,0 %. При отнесении количества потомков на год жизни и год использования на матках выгодно отличается бык Мучадр, превосходивший возрастных сверстников на 0,1–0,4 и 0,2–0,6 гол. соответственно.

Примером отцовских эффектов с негативными последствиями для жизнеспособности потомства является бык Мураками, который с оценкой инбридинга в 19 % оказался худшим по количеству выживших телят. Из тридцати четырех рожденных его потомков 10 голов пали (29,4 %), в том числе по причине мертворождения 1 гол. и патологий развития 1 гол.

Таблица 3

Характеристика и использование племенных быков
Characteristics and use of breeding bulls

Кличка	Линия	Инбридинг по Райту	Возраст, лет	Коров в гурте (загоне), гол.	Всего живых потомков, гол.	Потомков на 1-й год жизни, гол.	Потомков на 1-й год использования, гол.
Мучадр	542 Puzon	11%	11,7	3	22	1,9	2,3
Мухомор	542 Puzon	15%	3,5	5	1	0,3	0,7
SL-9 Августин	Bison bonasus	7%	15,4	1	28	1,8	2,1
Мукосад	Bison bonasus	8%	4,2	2	2	0,5	0,9
Мураками	680 Плудрак 11	19%	15,7	3	24	1,5	1,7
Мемувин	613 Springwagen	13%	5,6	5	6	1,1	1,7

Воспроизводство племенных коров питомника осуществляется за счет собственного генофонда маток. Живые коровы в среднем впервые отелились в возрасте 4,1 года, за 11,1 года жизни они имеют по 5,7 потомков, среди которых 2,9 телочки и 2,8 бычка. В расчете на год жизни от них получили по 0,4 теленка, а за период воспроизводительной жизни 0,93 гол. коровы Мурседес, Мусильва и Муцанка, выделяющиеся повышенной фертильностью, имеют от 11 до 16 потомков, в том числе по 7–10 дочерей. К категории коров с семью дочерьми относится и Мурсия. Очевидно, что геном этих

четырёх коров, с наибольшей численностью женского потомства, образующих, по сути, семейства, в ближайшие годы получит наибольшее распространение.

В целом коровы уступают племенным быкам сопоставимых возрастов по количеству полученных за жизнь потомков в 3,2 раза, что определяет их селекционную значимость и вклад в формирование генофонда популяции в поколениях. Как отмечено выше, среди современных животных рекордистами по плодовитости является корова Мурседес и племенной бык SL-9 Августин, от которых соответственно за 20,7 и 15,4 года жизни получено 16,0 и 28 потомков.

В разведении зубров опасность нарастания инбридинга, связанная с ограниченной численностью маточного поголовья и быков, участвующих в воспроизводстве питомника, возрастает при ускоренной смене поколений коров. Так, в популяции коров ЦЗП коэффициент инбридинга по родословным (до 11–14 поколений) оценивается в 13,0 % (табл. 4). При этом у молодых коров относительно возрастных особей с временным разрывом, соответствующим по датам рождения смене одного поколения, коэффициент инбридинга с 12,0 увеличился на 2,0 %.

Таблица 4

Племенные качества коров питомника
Breeding qualities of the nursery's cows

Кличка	Инбридинг по Райту, %	Длительность жизни, лет	Возраст первого отела, лет	Потомков за год		Всего потомков за жизнь, гол.	В том числе	
				жизни, гол.	воспроизв., гол.		телок, гол.	бычков, гол.
Медорис	13	5,6	3,9	0,4	1,2	2,0	1,0	1,0
Мурашка	17	6,7	4,1	0,4	1,1	3,0	2,0	1,0
Мугиса	10	11,7	6,0	0,3	0,7	4,0	2,0	2,0
Мукадия	23	13,7	5,0	0,6	0,9	8,0	5,0	3,0
Мущанка	11	20,7	4,5	0,6	0,7	12,0	7,0	4,0
Муколь	13	5,7	4,0	0,4	1,2	2,0	0,0	2,0
Мусмус	12	4,3	3,6	0,2	1,0	1,0	1,0	0,0
Музыка	17	8,4	4,7	0,4	0,8	3,0	0,0	3,0
Муана	13	4,6	3,8	0,2	1,0	1,0	1,0	0,0
Мусильва	9	15,6	3,9	0,7	0,9	11,0	7,0	4,0
Мугдалена	7	23,6	2,6	0,4	0,5	10,0	3,0	7,0
Мурседес	8	20,7	3,1	0,8	0,9	16,0	10,0	6,0
Мурсия	11	16,7	5,0	0,5	0,8	9,0	7,0	1,0
Мутаха	12	11,3	4,1	0,5	0,8	6,0	4,0	2,0
Мустома	12	3,8	3,3	0,3	1,0	1,0	1,0	0,0
Мурада	17	6,8	3,2	0,6	1,1	4,0	1,0	3,0
Мурника	17	15,7	4,4	0,6	0,8	9,0	1,0	8,0
Медси	13	4,4	3,7	0,2	1,4	1,0	0,0	1,0

Отцами 18 коров питомника являются 11 быков, с наибольшей численностью по Муугли 9874 (4 гол.), Мураками 11532 (2 гол.) и Мезин 12287 (2 гол.), являющихся в I, II поколениях потомками б. Метруд 7685 и соответственно формирующих родственную группу с общим вкладом в генофонд популяции – 76 гол., включая 42 телочки и 34 бычка. В родственной группе, образуемой бычьими потомками Danzo 6362 в I, II поколениях – Мурусик 12684, Шпonti 8842 и Шпору 8841, насчитывается четыре живые коровы. Суммарно от этих трех отцов получено 38 телок и 41 бычок, которые интродуцированы в полувольные и вольные условия содержания. Относительно обособленная генеалогическая группа потомков быка 7591 Ротук из линии Bison bonasus, развивающаяся через SL-9 Августин 11611 и NL-17, в ЦЗП представлены тремя коровами (табл. 5).

Таблица 5

Вклад отцовских предков коров питомника в формирование генофонда популяции
The contribution of paternal ancestors of the nursery's cows to the formation of the population's gene pool

Кличка отца отца коров	Кличка отца коровы	Коров в стаде, гол.	Всего потомков за жизнь отца, гол.	В том числе	
				телок, гол.	бычков, гол.
7685 Метруд	Муугли 9874_	4	33	17	16
Муугли 9874_	Мураками 11532	2	33	18	15
Меграй, 10463	Мезин 12287	2	10	7	3
Итого по ветке Метруда			76	42	34
Шпonti 8842_	Мурусик 12684	2	19	12	7
Данзо 6362	Шпonti 8842	1	24	9	15
Данзо 6362	Шпору 8841	1	36	17	19
Итого по ветке Данзо			79	38	41

Анализ родословных коров позволяет выделить три наиболее многочисленные родственные группы, образуемые женскими потомками родоначальниц Bagatelle 2557, Mutena 6715 и Mozaika 6979 (табл. 6). В родственной группе Bagatelle 2557 в третьем поколении выделилось две ветви на Wulawa 8738 и Murianna 10490, которые являются предками современных коров в I–III поколениях. Маточную родственную группу Mutena 6715 представляют две ветви через дочерей Muratina 8164 и Mukharka 8621, от которых в питомнике в I–II поколениях имеется пять племенных самок. Родственная группа, образованная Mozaika 6979 через трех дочерей Muzavra 8622, Mumugen'vin 11279 и Munika 10013, являясь наиболее многочисленной, разделена на три ветви, в которых в I–III поколениях имеется по две племенные самки.

Маточная родственная группа Mutena 6715 по сравнению с Bagatelle 2557 и Mozaika 6979 выделяется по количеству потомков, полученных за жизнь как среди относительно молодых, так и возрастных особей, на +1,5...2,2 гол. ($P \geq 0,05$... $P \leq 0,01$) и +5,5...6,0 гол. ($P \leq 0,05$) соответственно. Для этой родственной группы характерно и более интенсивное получение потомства в расчете на год жизни и племенного использования, а также и более ранние первые отелы, свидетельствующие о скороспелости и готовности к воспроизводству.

Таблица 6

Характеристика материнских родственных групп питомника (семейств)
по воспроизводительным показателям
Characteristics of maternal related groups of the nursery (families) according to reproductive indicators

Показатель	2557 Bagatelle		6715 Mutena		6979 Mozaika	
	Возрастная группа					
	До 9 лет (n = 2)	Старше 11 лет (n = 2)	До 9 лет (n = 2)	Старше 11 лет (n = 3)	До 9 лет (n = 3)	Старше 11 лет (n = 3)
1	2	3	4	5	6	7
Интервал в поколениях дочь—отец, лет	7,2±2,8	8,7±1,9	12,4±2,4	7,9±0,7	9,6±1,1	8±0,4
Интервал в поколениях дочь—мать, лет	7,7±0,4	6,2±1,5	15,5±1,1	9,4±1,5	11,1±2,9	9,5±3,5
Инбридинг, %	15±0,02	12±0,004	17±0,0	9±0,007	13±0,003	17±0,03
Длительность жизни, лет	6,3±1,5	14,0±1,9	6,8±0,2	19,0±1,4	4,7±0,5	13,7±0,9
Возраст первого отела, лет	4,2±0,4	4,5±0,4	3,6±0,4	3,8±0,3	3,7±0,2	5,2±0,4
Потомков за год жизни, гол.	0,3±0,1	0,5±0,0	0,5±0,1	0,7±0,1	0,3±0,1	0,5±0,1

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6	7
Потомков за жизнь, гол.	2±0,7	7,5±1,1	3,5±0,4	13±1,3	1,3±0,3	7±1,3
В том числе телок	0,5±0,4	5,5±1,1	1,5±0,4	8±0,8	0,7±0,3	2,7±1,0
Средняя продолжительность стельности	282,5±1,8	279,5±2,1	277,9±1,8	278,4±1,4	279±1,7	276,6±2,8
МОП в среднем, месс.	15,3±0,0	16,2±0,4	12,4±0,6	14,7±1,0	14,2±0,0	16,9±1,5
Инбридинг матерей, %	11,5±0,4	8±0,0	9±1,4	16±0,8	14,3±3,5	19±6,5
Кол-во потомков матерей, гол.	8±1,1	14±1,4	12±0,4	7,7±0,5	7±1,3	9,3±1,7
В том числе дочерей матери, гол.	6±1,1	8,5±1,1	6±1,4	4,3±0,3	4,3±1,0	5±0,5

В воспроизводстве генофонда популяции ЦЗП в 2024 г. участвовало 17 коров и 6 племенных быков, что оценивается в 17,7 особей эффективной популяции. За десятилетний период наблюдений количество коров, участвующих в размножении, находилось в пределах 13–17 гол., со средним значением 15,3 гол. В течение года относительная численность отелившихся коров в среднем была на уровне 80,4 %, с колебаниями от 52,9 до 94,1 %.

В онтогенезе телят наиболее критически значимым в становлении естественной резистентности и формировании пищеварительной системы являются первые недели жизни. В этот возрастной период падеж телят составляет 6,7 %, с колебаниями по годам от 0,0 до 18,7 % (табл. 7). За период с рождения и до наступления половой зрелости выбывает 13,0 % телят, что, несомненно, отрицательно сказывается на воспроизводстве генофонда зубров питомника.

В общем основные сдерживающие факторы наращивания численности зубров – проблемы с оплодотворяемостью (перегул), наблюдаемые в течение года у 19,3 % коров, и падеж молодняка за период до наступления половой зрелости, в сумме достигающий 20,0 %.

Таблица 7

Параметры воспроизводства ЦЗП за период 2015–2024 г.
Parameters of reproduction of the central heating plant for the period 2015–2024

Показатель	Среднее за период 2015–2024 гг.
Кол-во коров, участвующих в размножении, гол.	15,3±0,4
Кол-во отелов (+мертворожденные)	12,3±0,6
Кол-во погибших телят возрастом до 1 мес., гол.	1,3±0,3
Кол-во погибших телят возрастом от 1 мес до половой зрелости (3 года), гол.	0,5±0,3
Рождаемость/Эффективность беременности, % отелившихся коров	78±4
Сохранность телят до 1 мес. жизни, %	93±2
Сохранность молодняка с 1 мес. до половозрелости, %	87±3

Развитие популяции зубров ЦЗП в условиях полувольного содержания в загонах, расположенных в лесистой местности с естественным травостоем, и обеспечивающим по сезонам года кормлением (концентраты, сено, корнеплоды, веточный корм), определяется факторами естественного и искусственного отбора. В соответствии с концепцией сохранения биоразнообразия при расширенном воспроизводстве генофонда учитывается генеалогическая принадлежность и оценки вероятности нарастания инбридинга, экстерьер, живая масса и интенсивность роста, масть, темперамент и выраженность природных инстинктов, а также фертильность животных. При формировании семей, являющихся ключевым элементом управления селекционным процессом в питомнике, нагрузка на самцов определяется еще и исходя из возрастных различий с матками. Постоянство семей сохраняется на протяжении всего периода фертильной жизни зверей, с возможностью замены по мере их выбраковки или выбытия. Норма ввода молодых особей в популяцию питомника по годам находит-

ся в пределах 6,5–13,0 %. Отправка молодняка в вольные и полувольные (питомники) популяции осуществляется в возрасте 12–15 мес.

ВЫВОДЫ

1. В относительно малочисленной популяции зубров ЦЗП генеалогическое разнообразие ограничено десятью животными-основателями из двенадцати возможных: четырьмя быками-основателями (Plebejer, Bill, Begrunder и Kaukasus) и шестью коровами (Planta, Bilma, Plavia, Garde, Gaczyna, Plewna). Наиболее значимыми по вкладу в генофонд являются бык Plebejer (1917 г.р.) и корова Planta (1904 г.р.).

2. Коэффициент инбридинга племенных быков и коров составляет 12,3 и 13,0 % соответственно.

3. В генеалогическом развитии родственных групп отцовских линий доминируют потомки Метруда 7685 и Данзо 6362, а материнских – 6715 Mutena и 6979 Mozaika, которые, выделяясь воспроизводительными качествами, обеспечивают поддержание стабильной численности здорового поголовья в ЦЗП, а также интродукцию молодняка в дикую природу, заповедники и питомники страны.

4. Лидером по количеству потомков (28 гол.) является бык SL-9 Августин, который в популяции питомника инбридирован на минимальную величину – 7,0 %.

5. Примером отцовских эффектов с негативными последствиями для жизнеспособности потомства является бык Мураками, который с оценкой инбридинга в 19 % оказался худшим по количеству выбывших телят.

6. Коровы уступают племенным быкам сопоставимых возрастов по количеству полученных за жизнь потомков в 3,2 раза, что определяет их селекционную значимость и вклад в формирование генофонда популяции в поколениях.

7. ЦЗП обладает уникальным опытом и потенциалом для восстановления зубров в дикой природе. Однако долгосрочный успех зависит от комплексного подхода, сочетающего генетический мониторинг, улучшение условий содержания и активное международное взаимодействие в части пополнения генофонда. Это позволит не только сохранить, но и увеличить генетическое разнообразие популяции, обеспечив ее устойчивость в будущем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ рег. № 124020200029-4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заблоцкая М.М. Современные проблемы восстановления зубра в России // Проблемы сохранения и восстановления зубра: сб. науч. тр. – Данки, 2004. – С. 43.
2. Юргенсон П.Б. Восстановление зубров в СССР // Государственная племенная книга зубров и бизонов. – 1956. – Т. 1. – М., С. 5–12.
3. Slatis H.M. An analysis of Inbreeding in the European Bison // Genetics. – 1960. – № 45. – P. 275–287.
4. Белоусова И.П. Значение и оценка показателей генетического разнообразия для решения проблемы сохранения европейского зубра. – Пушино, 1999. – 102 с.
5. Сипко Т.П. Современные проблемы восстановления зубра // Проблемы сохранения и восстановления зубра. – Данки, 2004. – С. 17.
6. Overview on the Role of Advance Genomics in Conservation Biology of Endangered Species / S. Khan, G. Nabi, M.W. Ullah [et al.] // International Journal of Genomics. – 2016. – № 5. – P. 1–8.
7. Белоусова И.П. Использование методов генеалогического анализа для сохранения генофонда европейского зубра и лошади Пржевальского: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – СПб., 2020. – С. 1–32.
8. Матвеева Н.В., Цибизова Е.Л., Веселова Н.А. Особенности социального поведения зубра *Bison bonasus* (bovidae) в Окском заповеднике (Россия) // Байкальский зоологический журнал. – 2024. – № 1(36). – С. 82–91.
9. Аксенова П.В. Ветеринария зубров: практическое руководство. – М., 2020. – 224 с.
10. Заблоцкий М.А. Некоторые биологические особенности зубра и их изменения в условиях загонного содержания // Труды Приокско-Террасного заповедника. – М., 1957. – Вып. 1. – С. 27–31.
11. Заблоцкий М.А. Загонное содержание, кормление и транспортировка зубров (инструкция). Центральный зубровый питомник. – М., 1957. – С. 85.
12. Цибизова Е.Л. Проблемы содержания зубров в питомнике // Проблемы сохранения и восстановления зубра: сб. науч. тр. – Данки, 2004. – С. 72.
13. Маркова Т.В. Зубр – единственный выживший дикий бык Европы // Мордовский заповедник. – 2021. – № 20. – С. 30–31.

14. *Перерва В.И.* Дичеразведение: прошлое, настоящее и перспективы. – М., 2017. – 439 с.
15. *Анализ особенностей разведения зубра (Bison bonasus L.) и американского бизона (Bison bison L.) в условиях Приокско-Террасного заповедника / О.В. Голубев, Т.П. Сипко, И.В. Гусаров, Н.С. Марзанов // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2017. – С. 66–76.*
16. *Летопись природы заповедника за 2024 г. Книга семьдесят шестая. Ч. I. Изучение естественного хода природных процессов и явлений по программе. П. 8.3.1 Динамика племенного стада зубров в ЦЗП. Инв. №793, 2025.*
17. *European bison pedigree book. – Bialowieza, 2024.*

REFERENCES

1. *Zablotskaya M.M., Problemy sohraneniya i vosstanovleniya zubra*, Collection of scientific papers, Danki, 2004, p. 43. (In Russ.)
2. *Yurgenson P.B., Gosudarstvennaya plemennaya kniga zubrov i bisonov*, Moscow, 1956, Vol. 1, M., pp. 5–12. (In Russ.)
3. *Slatish H.M., An analysis of Inbreeding in the European Bison, Genetics*, 1960, No. 45, pp. 275–287.
4. *Belousova I.P., Znachenie i ocenka pokazateley geneticheskogo raznoobraziya dlya resheniya problem sohraneniya evropeyskogo zubra* (The importance and assessment of genetic diversity indicators for solving the problems of conservation of the European bison), Pushchino, 1999, 102 p.
5. *Sipko T.P., Problemy sohraneniya i vosstanovleniya zubra*, Danki, 2004, p. 17. (In Russ.)
6. *Khan S., Nabi G., Ullah M.W., Yousaf M., Manan S., Siddique R., Hou H., Overview on the Role of Advance Genomics in Conservation Biology of Endangered Species, International Journal of Genomics*, 2016, No. 5, pp. 1–8.
7. *Belousova I.P., Ispol'zovanie metodov genealogicheskogo analiza dlya sokhraneniya genofonda evropeyskogo zubra i lozhadi Przewalski'skogo* (Using genealogical analysis methods to preserve the gene pool of the European bison and Przewalski's horse), Abstract of a dissertation for a doctor of science, Sankt-Peterburg, 2020, pp. 1–32.
8. *Matveeva N.V., Tsibizova E.L., Veselova N.A., Bajkal'skij zoologicheskij zhurnal*, 2024, No. 1(36), pp. 82–91. (In Russ.)
9. *Aksenova P.V., Veterinariya zubrov* (Veterinary medicine for bison), Moscow, 2020, 224 p.
10. *Zablotskii M.A., Trudy Prioksko-Terrasnogo zapovednika*, Moscow, 1957, Vyp. 1, pp. 27–31. (In Russ.)
11. *Zablotskii M.A., Tsentral'nyi zubrovyy pitomnik*, Moscow, 1957, pp. 85. (In Russ.)
12. *Tsibizova E.L., Problemy sokhraneniya i vosstanovleniya zubra* (Problems of conservation and restoration of bison), Collection of scientific papers, Danki, 2004, pp. 72. (In Russ.)
13. *Markova T.V., Mordovskiy zapovednik*, 2021, No. 20, pp. 30–31. (In Russ.)
14. *Pererva V.I., Dicheraazvedenie: proshloe, nastoyashchee i perspektivy* (Game breeding: past, present and prospects), Moscow, 2017, 439 p.
15. *Golubev O.V., Sipko T.P., Gusarov I.V., Marzanov N.S., Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*, 2017, p. 66–76. (In Russ.)
16. *Letopis' prirody zapovednika za 2024 g.* (Chronicle of the nature reserve for 2024.), *Kniga sem'desyat shestaya. Chast' I. Izuchenie estestvennogo khoda prirodnikh protsessov i yavlenii po programme. P. 8.3.1 Dinamika plemennogo stada zubrov v TsZP. Inv. №793, 2025.* (In Russ.)
17. *European bison pedigree book, Bialowieza, 2024.*

Информация об авторах:

А.Н. Стефутин, аспирант Всероссийского научно-исследовательского института генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»; заместитель директора по содержанию и разведению зубров, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Приокско-Террасный государственный природный биосферный заповедник имени М.А. Заблоского»

Н.В. Сивкин, ученый секретарь, канд. с.-х. наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

Contribution of the authors:

A.N. Stefutin, Deputy Director for the Maintenance and Breeding of Bison, Federal State Budgetary Institution Prioksko-Terrasny State Nature Biosphere Reserve named after M.A. Zablotsky

N.V. Sivkin, Scientific Secretary, Candidate of Agricultural Sciences, Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center for Animal Husbandry – VIZh named after Academician L.K. Ernst

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ОСОБЕННОСТИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА НА ОСНОВЕ ЧАСТОТ ЭРИТРОЦИТАРНЫХ АНТИГЕНОВ ГРУПП КРОВИ СВИНЕЙ

¹К.С. Шатохин, ²С.В. Никитин, ¹Н.Н. Кочнев

¹Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, Новосибирск, Россия

²Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: true_genetic@mail.ru

Для цитирования: Шатохин К.С., Никитин С.В., Кочнев Н.Н. Особенности кластерного анализа на основе частот эритроцитарных антигенов групп крови свиней // Вестник Университета биотехнологий. – 2026. – Т. 21, № 1. – С. 193–206. – DOI: 10.31677/3033-8433-2026-21-1-193-206.

Реферат. Работа посвящена оценке эффективности различных методов расчета дистанций на основе частот аллелей эритроцитарных антигенов групп крови для филогенетического кластерного анализа популяций свиней. Была поставлена цель сравнить точность и адекватность различных метрик расстояний при восстановлении известных заранее родственных связей между группами домашних и диких свиней. В анализе задействованы дистанции Эвклида, Манхэттена, Канберра, Чебышева, а также специализированные генетические дистанции Нея, Эдвардса, Роджерса, Превости и Рейнольдса. В качестве объектов исследования использовались 12 популяций, включая мини-свиней Института цитологии и генетики СО РАН, крупную белую породу, ландрас, кемеровскую породу, а также различные подвиды дикого кабана. Для валидации результатов использовалась внешняя оценка на основе известной генеалогической истории популяций. Точность методов оценивалась с помощью корреляции Спирмена между дистанциями и рангами родства. Результаты показали, что большинство протестированных дистанций демонстрируют слабую или умеренную корреляцию с реальными филогенетическими связями. Дендрограммы, построенные на основе различных метрик, часто группировали неродственные популяции вместе и не отражали ожидаемой кластеризации по происхождению. Была выдвинута гипотеза, что это связано с относительно низким уровнем полиморфизма эритроцитарных антигенов групп крови по сравнению с такими современными маркерами, как микросателлиты или SNP. Сделан вывод о непригодности частот аллелей эритроцитарных антигенов групп крови для точного восстановления филогенетических отношений между популяциями свиней.

Ключевые слова: мини-свиньи, филогенетический анализ, эритроцитарные антигены, группы крови, генетические дистанции, дендрограммы, сельское хозяйство.

FEATURES OF CLUSTER ANALYSIS BASED ON THE FREQUENCIES OF ERYTHROCYTE ANTIGENS OF PIG BLOOD GROUPS

¹K.S. Shatokhin, ²S.V. Nikitin, ¹N.N. Kochnev

¹Siberian State University of Engineering and Biotechnology, Novosibirsk, Russia

²Institute of Cytology and Genetics, Novosibirsk, Russia

E-mail: true_genetic@mail.ru

Abstract. This work is devoted to evaluating the effectiveness of various methods for calculating distances based on the frequencies of alleles of erythrocyte antigens of blood groups for phylogenetic cluster analysis of pig populations. The aim was to compare the accuracy and adequacy of various distance metrics when restoring previously known kinship relationships between groups of domestic and wild pigs. The analysis involved the distances of Euclid, Manhattan, Canberra, Chebyshev, as well as the specialized genetic distances of Ney, Edwards, Rogers, Prevost, and Reynolds. 12 populations were used as research objects, including mini pigs of ICiG SB RAS, large white breed, Landrace, Kemerovo breed, as well as various subspecies of wild boar. An external assessment based on the known genealogical history of the populations was used to validate the results. The accuracy of the methods was assessed using Spearman's correlation between distance and kinship ranks. The results showed that most of the tested distances show weak or moderate correlation with real phylogenetic relationships. Dendrograms based on various metrics often grouped unrelated populations together and did not reflect the expected clustering by origin. It has been hypothesized that this is due to the relatively low level of polymorphism of erythrocyte antigens of blood groups compared with such modern markers as microsatellites or SNPs. It is concluded that the frequencies of alleles of erythrocyte antigens of blood groups are unsuitable for accurate reconstruction of phylogenetic relationships between pig populations.

Keywords: mini-pigs, phylogenetic analysis, erythrocyte antigens, blood groups, genetic distances, dendrograms, agriculture.

Филогенетический анализ является достаточно обширным разделом, объединяющим в себе методы биологии и статистики. Его сущность заключается в реконструкции эволюционной истории биологических видов, их популяций или отдельных генов путем их объединения в иерархические кластеры – филогенетические деревья, отражающие схему их родственных связей и последовательность дивергенции от общих предков [1, 2]. Классический подход в рамках данного анализа предполагает количественную оценку степени сходства или различия между изучаемыми популяциями. Данные о сходстве трансформируются в меру эволюционного расхождения, так называемые генетические дистанции, которые количественно отражают степень накопленных различий [3, 4]. Серьезной проблемой, способной существенно исказить достоверность филогенетических реконструкций, являются естественные популяционно-генетические процессы. К ним относятся эффект основателя, генетический дрейф, давление отбора или миграция особей. Эти процессы могут независимо исказить распределение частот аллелей и генотипов в популяциях, создавая картину эволюционного родства там, где его нет (явление гомоплазии), или, наоборот, маскируя истинное родство [5]. Для минимизации подобных искажений и повышения точности анализа рекомендуется комплексный подход, в частности, учет возможности интродукций [6].

Первичным материалом для филогенетического кластерного анализа обычно выступают частоты гаплотипов Y-хромосомы [7], митохондриальной ДНК [8], SNP либо SRT [9–11]. В начале XXI в. для оценки родства между популяциями пользовались частотами эндогенных ретровирусов. Во второй половине прошлого века популярным был анализ генетических дистанций, базирующихся на частотах аллотипов сывороточных белков, а также аллелей и антигенов групп крови [12]. Несмотря на архаичность, группы крови до недавнего времени использовались в качестве первичных данных для кластерного анализа [13].

При выборе метода кластеризации для филогенетического анализа существует одна проблема, состоящая в огромном количестве методов кластерного анализа [14, 15]. Среди них выделяют как специализированные методы оценки родства между популяциями, основанные на аллельных частотах [16], так и общие методы расчета дистанций, такие как Евклидово, расстояние Канберра, расстояние Минковского, расстояние Чебышёва [13]. В связи с этим возникает вопрос о том, каким именно методом лучше всего оценивать генетические дистанции при необходимости проведения филогенетического анализа.

Цель исследования состояла в сравнении точности различных типов дистанций на примере нескольких групп домашних и диких свиней, чье родство было заранее известно по результатам скрещиваний.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследований был выбран ряд популяций, отвечающих нескольким требованиям. Во-первых, популяции должны быть генеалогически преемственными, а их родственные связи должны быть заранее известны. Во-вторых, каждая популяция должна была быть протестирована на полиморфизм каких-либо маркеров. Такими популяциями оказались: мини-свиньи Института цитологии и генетики (ИЦИГ СО РАН), светлогорские мини-свиньи, минисибс, крупная белая порода (1992 г.), ландрас, а также средниазиатский и европейский подвиды дикого кабана. Для контраста в исследование включили три группы свиней, чьи родственные связи с указанными не задокументированы. Это выборки заводских пород, кемеровской и крупной белой 2016 г., а также сибирский подвид дикого кабана. Каждая из представленных совокупностей тестировалась на полиморфизм аллелей эритроцитарных антигенов групп крови (табл. 1).

Таблица 1

Перечень используемых в анализе выборок
List of samples used in the analysis

Популяция	Сокращенное название	Место взятия образцов биологического материала	Источник	n
Мини-свиньи ИЦиГ СО РАН, 2013	MSI_2013	Питомник мини-свиней ИЦиГ СО РАН, Новосибирская обл.	[17]	120
Мини-свиньи ИЦиГ СО РАН, 2001	MSI_2001		[18]	62
Минисибс	MSB	Экспериментальное хозяйство СО РАН, Новосибирская обл.	[19]	167
Светлогорские мини-свиньи	SG	Научный центр биомедицинских технологий РАМН, пос. Светлые Горы, Московская обл.	[20]	62
Крупная белая, 1992	LW_1992	Новосибирская обл.	[21]	383
Крупная белая, 2016	LW_2016	Новосибирская обл.	[22]	65
Ландрас	LND	Экспериментальное хозяйство СО РАН, Новосибирская обл.	[19]	905
Кемеровская	KEM	Кемеровская обл.	[12]	403
Сибирский кабан	SWB	Респ. Тыва	[23]	33
Среднеазиатский кабан	MAWB	Кыргызская Республика	[12]	83
Европейский кабан	EWB	Респ. Беларусь, Воронежская обл.	[12]	370
Вьетнамская масковая Й	VY	Популяция Рижского зоопарка	[19]	60

Все перечисленные популяции свиней (табл. 2) были тестированы иммунно-специфическими антисыворотками, прошедшими международные испытания. Большинство из них было получено ИЦиГ СО РАН согласно описанным методам [24]. Непосредственную паспортизацию животных по эритроцитарным антигенам групп крови проводили согласно рекомендациям [24].

Исследование проводили по следующей схеме. Вначале на основании частот аллелей групп крови (см. табл. 2) были построены дистанции, которые визуализировали в виде дендрограмм. В ходе исследования использовались дистанции, рассчитываемые базовой функцией *dist*: Манхэттена, Минковского, Евклида, Канберра, Чебышева («базовые дистанции»). Также в работе использовались генетические дистанции, вычисляемые популярной библиотекой *poppr*: Нея, Превости, Эдвардса, Роджерса и Рейнольдса [16]. Кластеризация осуществлялась при помощи функции *pvclust* с 1000 бутстрэп-повторами, что минимизировало ошибки, вызванные малочисленностью выборок и небольшого количества локусов [25, 26]. В качестве способа кластеризации был выбран метод Уорда. Статистика Хопкинса (0.5197) показывает пригодность исходных данных (см. табл. 2) для выполнения кластерного анализа [27]. Оценку правдоподобности кластерного анализа проводили методом внешней валидации [28]. В качестве априори известных расстояний использовались ранги, построенные на основании генеалогического родства (рис. 1). Точность дистанций оценивали при помощи корреляции с рангами родословной по методу Спирмена. Исходя из числа исследуемых популяций, количество вариантов в корреляционном анализе ($n = 11$) может вызвать некоторые вопросы о допуске по минимальному объему выборки, требования к которому существенно разнятся [29, 30]. Поэтому для нивелирования малочисленности было использовано расширение выборки с помощью бутстрэпа (1000), для чего использовали функцию *resample* из пакета *mosaic* [31]. Анализ данных осуществляли в среде программирования R.

Таблица 2

Исходные частоты аллелей групп крови
Initial frequencies of blood group alleles

Популяция	Acp	A-	Ba	Bb	Da	Db	Ebdg	Eaeg	Eedg	Eedf	Fa	Fb	Ga	Gb
Мини-свины ИЦиГ СО РАН, 2013	0,933	0,067	0,883	0,118	0,363	0,638	0,083	0,354	0,550	0,013	0,304	0,696	0,475	0,525
Мини-свины ИЦиГ СО РАН, 2001	0,905	0,095	1,000	0,000	0,295	0,705	0,068	0,416	0,516	0,000	0,458	0,542	0,332	0,668
Минисибс	0,500	0,500	1,000	0,000	0,696	0,304	0,134	0,560	0,242	0,061	0,045	0,955	0,089	0,911
Светлогорские	0,380	0,620	1,000	0,000	0,020	0,980	0,100	0,170	0,560	0,170	0,770	0,230	0,500	0,500
Крупная белая, 1992	0,172	0,828	1,000	0,000	0,038	0,962	0,329	0,307	0,230	0,133	0,000	1,000	0,398	0,602
Крупная белая, 2016	0,510	0,490	1,000	0,000	0,262	0,738	0,030	0,331	0,431	0,208	0,007	0,993	0,285	0,715
Ландрас	0,295	0,705	1,000	0,000	0,000	1,000	0,328	0,129	0,322	0,218	0,156	0,844	0,290	0,710
Кемеровская	0,120	0,880	0,990	0,010	0,000	1,000	0,280	0,180	0,430	0,112	0,403	0,597	0,715	0,285
Сибирский кабан	0,740	0,260	1,000	0,000	0,923	0,077	0,000	0,154	0,846	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000
Среднеазиатский кабан	0,460	0,540	1,000	0,000	0,200	0,800	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,301	0,699
Европейский кабан	0,849	0,151	1,000	0,000	0,011	0,989	0,000	0,299	0,729	0,000	0,000	1,000	0,981	0,019
Вьетнамская масковая Й	0,143	0,857	1,000	0,000	0,725	0,276	0,031	0,633	0,337	0,000	0,770	0,230	0,174	0,827

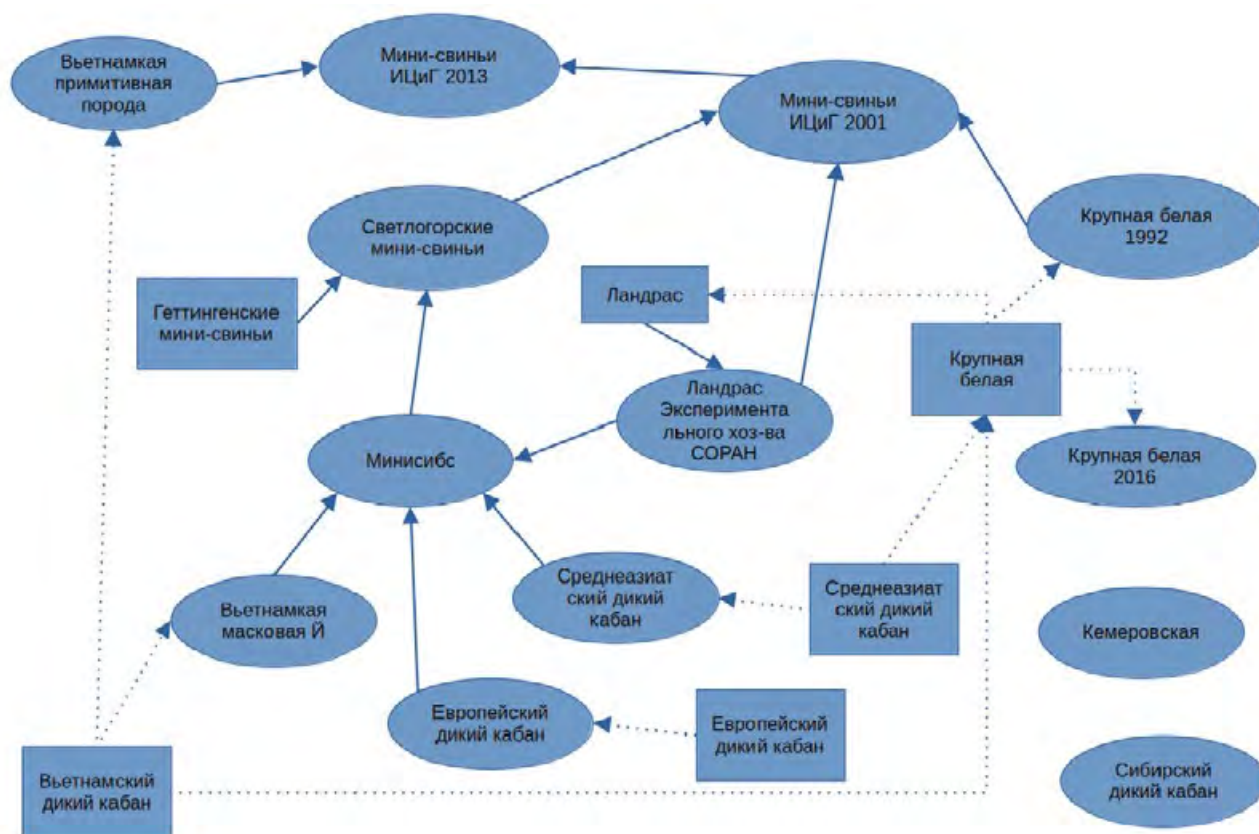


Рис. 1. Схема филогенетических отношений между изученными группами: в прямоугольниках обозначены большие массивы животных, относящиеся целиком к породе/виду; в эллипсах — конкретные выборки животных, задействованные в анализе; сплошными стрелками указаны непосредственные интродукции, пунктиром — опосредованная интродукция, включающая много поколений животных и возможное наличие переходных форм

A diagram of the phylogenetic relationships between the studied groups: rectangles represent large sets of animals belonging entirely to a breed/species; ellipses represent specific samples of animals used in the analysis; solid arrows indicate direct introductions; dotted lines indicate indirect introductions, including many generations of animals and the possible presence of transitional forms.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По результатам частот аллелей эритроцитарных антигенов групп крови табл. 2 были построены различные дистанции между изученными выборками табл. 3. Далее на основе филогенетических отношений определили ранги удаленности, используемые в качестве дистанций по родословным (см. рис. 1). Ранги удаленности определяли по отношению к популяции мини-свиней ИЦиГ СО РАН 2013 г. Наименее удаленной дистанции присваивали «1», наиболее удаленной — «11». Если две и более выборки были генеалогически равноудалены от мини-свиней ИЦиГ СО РАН 2013, ранги присваивали в соответствии с принципами ранжирования данных [32].

Наиболее близкой популяцией по отношению к мини-свиньям 2013 г. само собой является типированная в 2001 г. селекционная группа мини-свиней ИЦиГ СО РАН. Каждая из используемых дистанций относительно мини-свиней 2013 г. показывает наименьшее расстояние с выборкой 2001 г. Ранг «2» следовало бы присвоить вьетнамской примитивной породе, «прилитие крови» которых было в 2007 и 2010 гг. Их вклад в генофонд стада составил около 20 % [17]. Однако это не было учтено, так как представители породы не имеют результатов иммуногенетической паспортизации. Поэтому ранг «2» был присвоен ландрасам, обогатившим генофонд стада в 1995 г. Третий и четвертый ранги были поделены между родоначальниками мини-свиней ИЦиГ СО РАН: светлогорскими хряками и свиноматками крупной белой породы (1992). Далее ранги распределились между минисибс и их предковыми формами: вьетнамской масковой породой Й, среднеазиатским и европейским подвидами дикого кабана. Предпоследние ранги получили домашние свиньи, напрямую не участвовавшие в создании мини-свиней ИЦиГ СО РАН. Наиболее удаленный ранг получил сибирский подвид дикого кабана (см. табл. 3).

Таблица 3

Матрица дистанций популяций домашних и диких свиней по отношению к мини-свиньям ИЦиГ СО РАН, 2013 г.
Matrix of distances of populations of domestic and wild pigs in relation to minipigs ICG SB RAS 2013

Популяция	По родословным	Евклидова	Чебышева	Манхеттена	Канберра	Минковского	Нея	Эдвардса	Превости	Роджерса	Рейнольдса
Вьетнамская масковая Й	7	1,51	0,79	4,63	7,99	1,51	0,34	0,82	0,29	0,20	0,29
Европейский кабан	7	1,01	0,51	3,06	8,38	1,01	0,11	0,82	0,19	0,14	0,21
Крупная белая, 1992	3,5	1,33	0,76	3,90	7,84	1,33	0,24	0,82	0,24	0,17	0,26
Крупная белая, 2016	9,5	0,84	0,42	2,65	6,17	0,84	0,10	0,81	0,17	0,12	0,17
Кемеровская	9,5	1,35	0,81	3,83	7,15	1,35	0,26	0,82	0,24	0,17	0,27
Ландрас	2	1,19	0,64	3,81	8,16	1,19	0,20	0,82	0,24	0,17	0,24
Мини-свиньи ИЦиГ СО РАН 2001	1	0,36	0,15	1,14	3,70	0,36	0,02	0,79	0,07	0,05	0,07
Минисибс	5	1,09	0,43	3,67	7,63	1,09	0,16	0,81	0,23	0,16	0,22
Светлогорские	3,5	1,17	0,55	3,38	6,51	1,17	0,19	0,81	0,21	0,15	0,23
Сибирский кабан	11	1,23	0,56	3,89	9,24	1,23	0,17	0,82	0,24	0,17	0,25
Среднеазиатский кабан	7	1,05	0,47	3,36	8,48	1,05	0,13	0,82	0,21	0,15	0,21

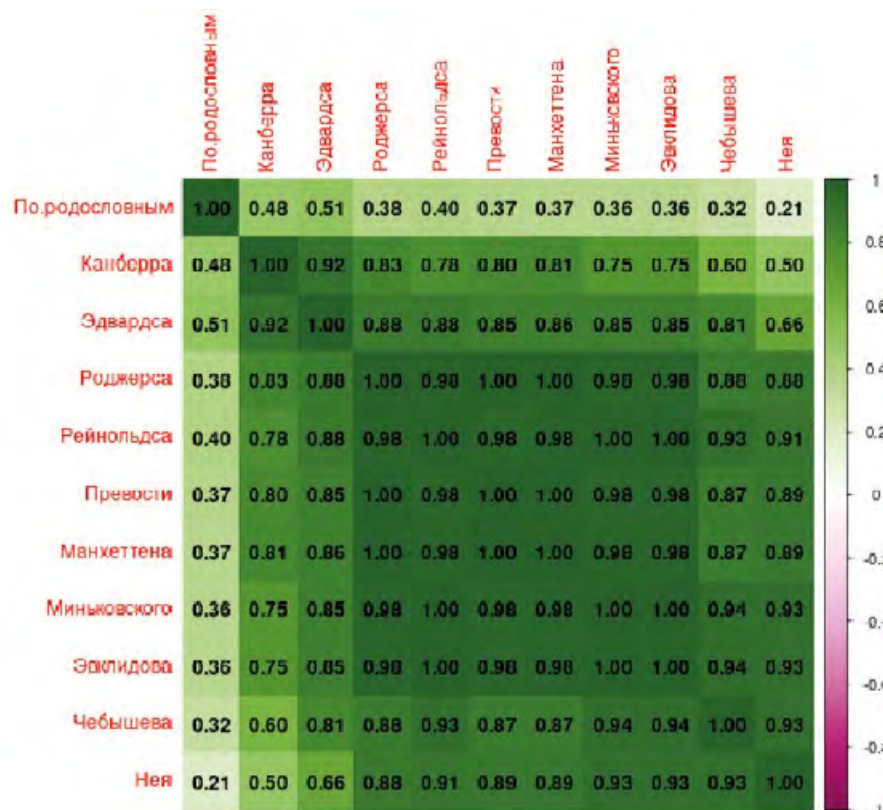


Рис. 2. Коэффициенты корреляции Спирмена между дистанциями и рангами расстояния между популяциями по родословным, $P < 0,001$

Spearman correlation coefficients between distances and distance ranks between populations by pedigrees, $P < 0.001$

Table 1



0

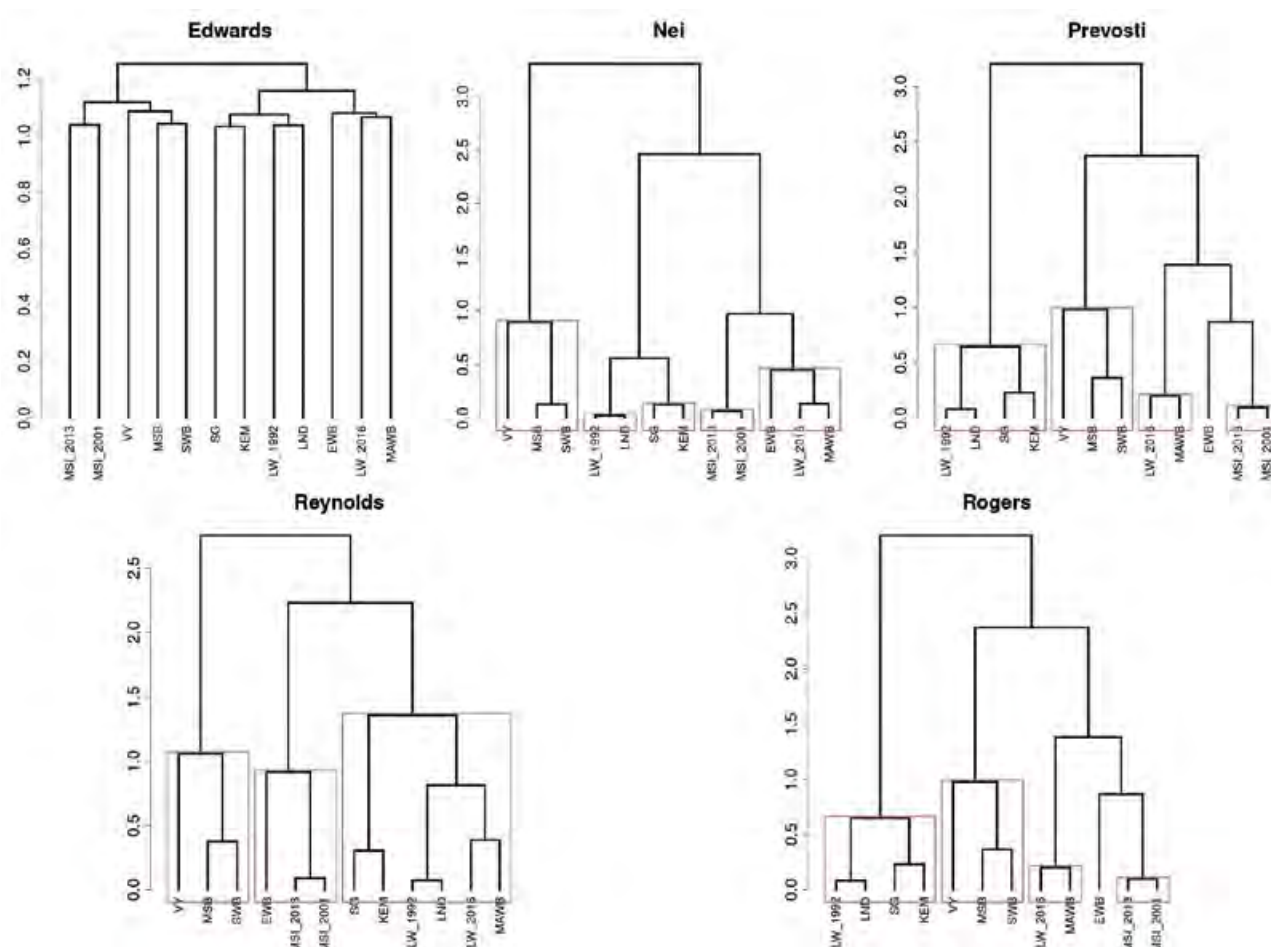


Рис. 4. Дендрограммы на основе генетических дистанций, кластеризованных методом Уорда
Dendrograms based on genetic distances clustered by Ward's method

Выборка крупной белой породы 2016 г. вообще не имела четкого местоположения на дендрограммах. Причем разные дистанции «ставили» ее по соседству с совершенно неродственными группами: минисибс (дистанции Канберра) и среднеазиатским диким кабаном (Евклидовы, Манхэттена, Минковского и все генетические дистанции). Наиболее логичная крупная белая порода 2016-го локализация наблюдалась на дендрограмме, построенной на основе дистанций Чебышева, где она располагалась по соседству с кластером крупной белой породы 1992 г. и ландрасами (см. рис. 3–4). Для удобства состав соответствующих кластеров сгруппирован в табл. 4.

Таблица 4

Кластеризация популяций свиней
Clustering of pig populations

Кластер	Дистанция					
	Канберра	Евклидовы	Минковского	Превости	Роджерса	Рейнольдса
1	2	3	4	5	6	7
1	—	EWB, MS_2001, MS_2013	EWB, MS_2001, MS_2013	—	—	EWB, MS_2001, MS_2013
2	—	SG, KEM, LW_1992, LND, LW_2016, MAWB	SG, KEM, LW_1992, LND, LW_2016, MAWB	LW_1992, LND, SG, KEM	LW_1992, LND, SG, KEM	SG, KEM, LW_1992, LND, LW_2016, MAWB

1	2	3	4	5	6	7
3	—	VY, MSB,SWB	VY, MSB,SWB	VY, MSB,SWB	VY, MSB, SWB	VY, MSB,SWB
4	LW_1992, LND, MSB, SG, KEM	—	—	—	—	—
5	—	—	—	EWB, MS_2013, MS_2001, MAWB	EWB, MS_2013, MS_2001, MAWB	—
6	EWB, MAWB, SWB	—	—	—	—	—
7	MS_2013, MS_2001, VY	—	—	—	—	—

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Достаточно логично выглядит дендрограмма, построенная по дистанциям Канберра (см. рис. 3). В частности, она оказалась единственным типом дистанций, группирующим диких кабанов отдельно от домашних свиней. Однако и в этом случае наблюдаются некоторые несоответствия реальным филогенетическим отношениям (см. рис. 1). В первом кластере вместе с мини-свиньями ИЦиГ СО РАН оказались также вьетнамская масковая Й, минисибс и выборка крупной белой породы 2016 г. В совместной группировке мини-свиней ИЦиГ СО РАН, минисибс и вьетнамской масковой Й нет ничего необычного, так как эти популяции являются генеалогически преемственными (рис. 1). Присутствие в этом же кластере выборки крупной белой породы 2016 г. нелогично, так как прямых интродукций ни из одной популяции из совместного кластера не было (см. рис. 3). Во втором кластере вместе оказались крупная белая порода 1992, ландрас, светлогорские мини-свиньи и кемеровская порода. Группировка заводских пород в один кластер логична, так как между этими породами существует непосредственная филогенетическая преемственность. Порода ландрас в свое время произошла от скрещивания крупной белой породы и местных датских свиней [34]. Свиньи крупной белой породы участвовали в создании кемеровской породы [35]. Ландрасы являются одной из предковых форм минисибс, которые, в свою очередь, дали начало светлогорским мини-свиньям [19, 20].

При построении кластеров на базе дистанций Рейнольдса, Минковского и Евклида четко выделяются три кластера, которых следовало бы ожидать исходя из распределения частот аллелей эритроцитарных антигенов групп крови. Условно, данная особенность распространяется и на дендрограммы по дистанциям Канберра, Роджерса и Превости. В случае с дистанциями Канберра выделяется два кластера, популяции диких кабанов расположились отдельно, по соседству друг с другом, не образуя единого кластера. На дендрограммах по дистанциям Роджерса и Превости наблюдается два больших кластера, а оставшиеся группы разбиты на два отдельных небольших кластера (см. рис. 3–4).

Несмотря на то, что на дендрограммах на базе дистанций Рейнольдса, Минковского, Евклида, Канберра, Роджерса и Превости количество кластеров было принято равным трем, их состав существенно отличался. Поэтому фактически количество кластеров было равным семи (см. табл. 4). Так как родство в данном случае не было группирующим фактором (см. рис. 2), в качестве объяснения принципа кластеризации, было принято распределение аллелей (см. табл. 2). Первый кластер составили мини-свиньи ИЦиГ СО РАН и европейский подвид дикого кабана (см. табл. 4). Филогенетическая связь между ними достаточно опосредованная (европейский дикий кабан – минисибс – светлогорские мини-свиньи – мини-свиньи ИЦиГ СО РАН), но объединяет их высокая в сравнении с другими группами частота аллеля *Asp*, исходного для гена *EAA* [12].

Согласно дистанциям Превости и Роджерса, второй кластер составляют крупная белая 1992, ландрас, кемеровская и светлогорские мини-свиньи (см. табл. 4). Дистанции Евклида, Минковского и Рейнольдса «добавляют» еще среднеазиатского кабана и крупную белую 2016 г. Объединяющим фак-

тором может быть высокая частота аллеля *Db* при встречаемости аллеля *A* – более 50 % (см. табл. 2). Третий кластер образован минисибс, одной из их предковых форм, вьетнамской масковой породой Й и неродственного им дикого кабана. Наиболее вероятным группирующим фактором является высокая частота «азиатских» аллелей *Da* и *Gb*. Четвертый кластер представляется нелогичным, так как не содержит явного группирующего признака. Образован дистанциями Канберра и включает в себя две родственные группы. Первая – заводские породы, ландрас, кемеровская и крупная белая 1992. Вторая – минисибс и созданные на их основе светлогорские мини-свиньи. Пятый кластер также не имеет явной причины для объединения, включает в себя два подвида дикого кабана (европейский и среднеазиатский) и две выборки мини-свиней ИЦиГ СО РАН. Шестой кластер собран дистанциями Канберра по принципу родства. Здесь оказались дикие кабаны, которых объединяет высокая в сравнении с домашними свиньями частота корневого аллеля *Eedg*. Седьмой кластер также образован дистанциями Канберра. Может показаться, что кластер был собран по причине скрещивания мини-свиней ИЦиГ СО РАН в 2007 и 2010 гг. с хряками примитивной вьетнамской породы [17]. Однако схожих частот аллелей между мини-свиньями ИЦиГ СО РАН и вьетнамской масковой породой Й нет, а родство между Й и примитивной вьетнамской породой остается невыясненным. Более того, у мини-свиней ИЦиГ СО РАН обнаружен не свойственный большинству популяций свиней аллель *Bb*. Так что принцип образования седьмого кластера непонятен.

Функция *pvclust* не выявила кластеров, образованных на основании дистанций Эдвардса (см. рис. 4). Однако визуально выборки делятся на две большие группы, каждая из которых, подразделяется на еще две малые группы. Мини-свиньи ИЦиГ СО РАН образуют первую малую группу, которая соседствует с группой из светлогорских мини-свиней, минисибс и сибирским диким кабаном. Можно предположить, что группирующим фактором для этих групп стали «азиатские» аллели эритроцитарных антигенов групп крови *Da* и *Gb*, что, по-видимому, стало причиной присутствия в названной группе сибирского дикого кабана, который состоит в прямом родстве с остальными выборками. Вторая большая группа (состоящая из третьей и четвертой малых) не менее любопытна. В третью малую группу вошли светлогорские мини-свиньи, выборка крупной белой породы 1992 г., ландрасы и свиньи кемеровской породы. Четвертая группа образована европейскими и среднеазиатскими кабанами с «лишней» выборкой крупной белой породы 2016 г. (см. рис. 4).

Использование дистанций, рассчитанных на основе частот аллелей эритроцитарных антигенов групп крови, позволяет весьма условно сгруппировать по принадлежности к центрам происхождения этих самых аллелей, но не показать более тонкие филогенетические отношения. В случае с дистанциями Канберра кластеры получились довольно логичными: дикие кабаны (кластер № 6), домашние свиньи азиатского корня (кластер № 7) и домашние свиньи европейского корня (кластер № 4). Другие дистанции выделили не менее интересные кластеры: азиатский (кластер № 3), европейский архаичный (кластер № 1) и европейский продвинутый (кластер № 2). Дифференциации на домашних и диких свиней при этом не наблюдается (см. табл. 4). Одной из причин серьезных различий классификации популяции свиней на основе дистанций от реальных филогенетических отношений видится недостаточно высокий полиморфизм локусов эритроцитарных антигенов групп крови. Судя по литературным данным, использование более высокополиморфных маркеров, например множественных SNP и микросателлитов, позволяет избежать подобных ошибок [36–38]. Таким образом, эритроцитарные антигены групп крови являются недостаточно информативным исходным материалом для филогенетического анализа свиней.

ВЫВОДЫ

1. Из всех изученных методов определения дистанций на основе частот аллелей эритроцитарных антигенов групп крови максимальное правдоподобие относительно родословных показали дистанции Канберра и Эдвардса.

2. Использование частот аллелей эритроцитарных антигенов групп крови домашних свиней в качестве первичных данных для кластерного анализа практически не показывает истинных филогенетических отношений между популяциями. Основной причиной представляется недостаточно высокий полиморфизм.

Работа поддержана бюджетным проектом № FWNR-2026-1002.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Genetic Diversity and Population Structure of Six Autochthonous Pig Breeds from Croatia, Serbia, and Slovenia* / M. Zorc, D. Škorput, K. Gvozdanić [et al.] // *Genet Sel Evol.* – 2022. – Vol. 54, N 1. – P. 30. – DOI: 10.1186/s12711-022-00718-6.
2. *Genome-Wide Analysis of Genetic Diversity and Artificial Selection in Large White Pigs in Russia* / S. Bakoev, L. Getmantseva, O. Kostyunina [et al.] // *PeerJ.* – 2021. – Vol. 9. – P. e11595. – DOI: 10.7717/peerj.11595.
3. *Molecular phylogenetic analysis among species of Paridae, Remizidae and Aegithalos based on mtDNA sequences of COI and cyt b* / C. Dai, K. Chen, R. Zhang [et al.] // *Avian Research.* – 2023. – Vol. 1, N 2. – P. 112–123.
4. *McKenzie P.F. Linking Phylogenetic Models to Population Processes, from Species Trees to Genomes.* – Columbia University, 2023.
5. *Kapli P., Flouri T., Telford M.J. Systematic Errors in Phylogenetic Trees* // *Curr Biol.* – 2021. – Vol. 31, N 2. – P. R59–R64. – DOI: 10.1016/j.cub.2020.11.043.
6. *Komarova V.A., Lavrenchenko L.A. Approaches to the Detection of Hybridization Events and Genetic Introgression upon Phylogenetic Incongruence* // *Biology Bulletin Reviews.* – 2022. – Vol. 12, № 3. – P. 240–253. – DOI: 10.1134/S2079086422030045.
7. *Phylogeography and Demographic History of Macaques, Fascicularis Species Group, in East Asia: Inferred from Multiple Genomic Markers* / Y. Zhou, J. Tian, H. Jiang [et al.] // *Mol Phylogenet Evol.* – 2024. – Vol. 194. – P. 108042. – DOI: 10.1016/j.ympev.2024.108042.
8. *Генетическое разнообразие и филогенетические взаимосвязи пород свиней, разводимых в России, на основе анализа полиморфизма d-петли мтДНК* / В.Р. Харзинова, Н.А. Акопян, А.В. Доцев [и др.] // *Генетика.* – 2022. – Т. 58, № 8. – С. 920–932. – DOI: 10.31857/S0016675822080045.
9. *Aitnazarov R.B., Mishakova T.M., Yudin N.S. Assessment of genetic diversity and phylogenetic relationships in Black Pied cattle in the Novosibirsk Region using microsatellite markers* // *Vestnik VOGiS.* – 2022. – Vol. 25, N 8. – P. 831–838. – DOI: 10.18699/VJ21.096.
10. *Population Structure Assessed Using Microsatellite and SNP Data: An Empirical Comparison in West African Cattle* / I. Álvarez, I. Fernández, A. Traoré [et al.] // *Animals (Basel).* – 2021. – Vol. 11, N 1. – P. 151. – DOI: 10.3390/ani11010151.
11. *Cortes O., Cañon J., Gama L.T. Applications of Microsatellites and Single Nucleotide Polymorphisms for the Genetic Characterization of Cattle and Small Ruminants: An Overview* // *Ruminants.* – 2022. – Vol. 2, N 4. – P. 456–470. – DOI: 10.3390/ruminants2040032.
12. *Тихонов В.Н., Жучаев К.В. Микроэволюционная теория и практика пороодообразования свиней.* – Новосибирск, 2008. – 395 с.
13. *Henry O.O., Happiness I.E.N., Makuachukwu J-P.O. Applications of Genetic Distances on Blood-Group Gene Frequencies and Their Statistical Genetic Similarities* // *AJPAS.* – 2022. – Vol. 20, N 7. – P. 1–7. – DOI: 2022/v20i130478.
14. *NetCoMi: Network Construction and Comparison for Microbiome Data in R* / S. Peschel, C.L. Müller, E. von Mutius [et al.] // *Briefings in Bioinformatics.* – 2020. – Vol. 22, N 4. – P. bbaa290. – DOI: 10.1093/bib/bbaa290.
15. *Distance-Based Phylogenetic Inference from Typing Data: A Unifying View* / C. Vaz, M. Nascimento, J.A. Carriço [et al.] // *Briefings in Bioinformatics.* – 2021. – Vol. 22, N 3. – P. bbaa147. – DOI: 10.1093/bib/bbaa147.
16. *Kamvar Z.N., Tabima J.F., Grünwald N.J. Poppr: An R Package for Genetic Analysis of Populations with Clonal, Partially Clonal, and/or Sexual Reproduction* // *PeerJ.* – 2014. – Vol. 2. – P. e281. – DOI: 10.7717/peerj.281.
17. *Генетические особенности миниатюрных свиней ИЦиГ СО РАН* / К.С. Шатохин, В.С. Деева, Г.М. Гончареко [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет).* – 2014. – Т. 1(30). – С. 75–80.
18. *Горелов И.Г., Савина М.А., Ермолаев В.И. Сибирские миниатюрные свиньи – новая биомодель для медико-биологических исследований* // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки.* – 2001. – № 3–4. – С. 81–87.
19. *Тихонов В.Н. Лабораторные мини-свиньи. Генетика и медико-биологическое использование.* – Новосибирск, 2010. – 304 с.
20. *Капанадзе Г.Д., Аушев Ж.А. Светлогорская популяция мини-свиней* // *Биомедицина.* – 2007. – № 6. – С. 70–80.
21. *Дмитриева Г.Л., Набродова Н.М., Коломников В.А. Генофонд крупной белой породы свиней Западной Сибири* // *Повышение эффективности селекционно-племенной работы.* – Новосибирск, 1992. – С. 52–57.
22. *Селекционно-генетические особенности помесных свиней, полученных от скрещивания крупной белой и йоркширской пород* / В.А. Бекенев, В.С. Деева, В.И. Фролова [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет).* – 2016. – № 4. – С. 112–117.
23. *Горелов И.Г. Биология сибирского кабана.* – Новосибирск, 1994. – 82 с.
24. *Тихонов В.Н. Использование групп крови при селекции животных.* – М., 1967. – 391 с.
25. *Шитиков В.К., Мاستицкий С.Э. Классификация, регрессия и другие алгоритмы Data Mining с использованием R.* – Тольятти; Лондон, 2017. – 351 с.

26. Wang W., Kaffo M. Bootstrap Inference for Instrumental Variable Models with Many Weak Instruments // Journal of Econometrics – 2016. – Vol. 192, N 1. – P. 231–268. – DOI: 10.1016/j.jeconom.2015.12.016.
27. Wright K. Will the Real Hopkins Statistic Please Stand Up? // The R Journal. – 2022. – Vol. 14, N 3. – P. 282–292. – DOI: 10.32614/RJ-2022-055.
28. Kassambara A. Practical Guide To Cluster Analysis in R. Unsupervised Machine Learning. 1st ed. – STHDA, 2017. – URL: <https://xsluulab.github.io/Workshop/2021/week10/r-cluster-book.pdf> (дата обращения: 04.10.2025).
29. Объем выборки для корреляционного анализа / А.М. Гржбовский, М.А. Горбатова, А.Н. Наркевич, К.А. Виноградов // Морская медицина. – 2020. – Т. 6, № 1. – С. 101–106. – DOI: 10.22328/2413-5747-2020-6-1-101-106.
30. Bujang M.A. An Elaboration on Sample Size Determination for Correlations Based on Effect Sizes and Confidence Interval Width: A Guide for Researchers // Restor Dent Endod. – 2024. – Vol. 49, N 2. – P. e21. – DOI: 10.5395/rde.2024.49.e21.
31. Pruim R., Kaplan D.T., Horton N.J. The Mosaic Package: Helping Students to Think with Data Using R // The R Journal. – 2017. – Vol. 9, N 1. – P. 77. – DOI: 10.32614/RJ-2017-024.
32. Ali Abd AlHameed K. Spearmans correlation coefficient in statistical analysis // IJNAA. – 2022. – Vol. 13, N 1. – p. 3249–3255. – DOI: 10.22075/ijnnaa.2022.6079.
33. Wavelet Vegetation Index to Improve the Inversion Accuracy of Leaf V25cmax of Bamboo Forests / K. Guo, X. Li, H. Du [et al.] // Remote Sensing. – 2023. – Vol. 15, N 9. – P. 2362. – DOI: 10.3390/rs15092362.
34. Кабанов В.Д., Терентьева А.С. Породы свиней. – М., 1985. – 336 с.
35. Гудилин И.И., Дементьев В.Н., Тараканов Е.А. Кемеровская порода свиней. – Новосибирск, 2003. – 387 с.
36. Genetic diversity and population structure analysis reveals the unique genetic composition of South African selected macadamia accessions / M. Ranketse, C.A. Hefer, R. Pierneef [et al.] // Tree Genetics & Genomes. – 2022. – Vol. 18, N 2. – P. 15. – DOI: 10.1007/s11295-022-01543-0.
37. Comparative Analysis of Microsatellite and SNP Markers for Genetic Management of Red Deer / J. Pérez-González, J. Carranza, G. Anaya [et al.] // Animals. – 2023. – Vol. 13, N 21. – P. 3374. – DOI: 10.3390/ani13213374.
38. Барсукова М.А., Петров А.Ф., Нароженных К.Н. Оценка генетического разнообразия скота породы герефорд на основе микросателлитных маркеров // Достижения науки и техники АПК. – 2025. – Т. 39, № 2. – С. 52–57. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80645325> (дата обращения: 01.09.2025).

REFERENCES

1. Zorc M., Škorput D., Gvozdanović K., Margeta P., Karolyi D., Luković Z., Salajpal K., Savić R., Muñoz M., Bovo S., Djurkin Kušec I., Radović Č., Kušec G., Čandek Potokar M., Dovč P., Genetic Diversity and Population Structure of Six Autochthonous Pig Breeds from Croatia, Serbia, and Slovenia, *Genet Sel Evol*, 2022, Vol. 54, No. 1, pp 30, DOI: 10.1186/s12711-022-00718-6.
2. Bakoev S., Getmantseva L., Kostyunina O., Bakoev N., Prytkov Y., Usatov A., Tatarinova T.V., Genome-Wide Analysis of Genetic Diversity and Artificial Selection in Large White Pigs in Russia, *PeerJ*, 2021, Vol. 9, pp. e11595, DOI: 10.7717/peerj.11595.
3. Dai C., Chen K., Zhang R. [et al.], Molecular phylogenetic analysis among species of Paridae, Remizidae and Aegithalos based on mtDNA sequences of COI and cyt b, *Avian Research*, 2023, Vol. 1, No. 2, pp. 112–123.
4. McKenzie P.F., Linking Phylogenetic Models to Population Processes, from Species Trees to Genomes, Columbia University, 2023, URL: <https://books.google.ru/books?id=2Xwh0AEACAAJ>.
5. Kapli P., Flouri T., Telford M.J., Systematic Errors in Phylogenetic Trees, *Curr Biol*, 2021, Vol. 31, No. 2, pp. R59–R64, DOI: 10.1016/j.cub.2020.11.043.
6. Komarova V.A., Lavrenchenko L.A., Approaches to the Detection of Hybridization Events and Genetic Introgression upon Phylogenetic Incongruence, *Biology Bulletin Reviews*, 2022. T. 12, Vol. 3, pp. 240–253, DOI: 10.1134/S2079086422030045.
7. Zhou Y., Tian J., Jiang H., Han M., Wang Y., Lu J., Phylogeography and Demographic History of Macaques, Fascicularis Species Group, in East Asia: Inferred from Multiple Genomic Markers, *Mol Phylogenet Evol*, 2024, Vol. 194, pp. 108042, DOI: 10.1016/j.ympev.2024.108042.
8. Kharzinova V. R., Akopyan N. A., Akopyan A. V., Deniskova T. E., Sermyagin A. A., Karpushkina, T. V., Solovieva A. D., Brem G., Zinovieva N.A., *Russian Journal of Genetics*, 2022, Vol. 58, No. 8, pp. 944–954, DOI: 10.31857/S0016675822080045. (In Russ.)
9. Aitnazarov R.B., Mishakova T.M., Yudin N.S., Assessment of genetic diversity and phylogenetic relationships in Black Pied cattle in the Novosibirsk Region using microsatellite markers, *Vestn. VOGiS*, 2022, Vol. 25, No. 8, pp. 831–838, DOI: 10.18699/VJ21.096.

10. Álvarez I., Fernández I., Traoré A., Menéndez-Arias N.A., Goyache F., Population Structure Assessed Using Microsatellite and SNP Data: An Empirical Comparison in West African Cattle, *Animals (Basel)*, 2021, Vol. 11, No. 1, pp. 151, DOI: 10.3390/ani11010151.
11. Cortes O., Cañon J., Gama L.T., Applications of Microsatellites and Single Nucleotide Polymorphisms for the Genetic Characterization of Cattle and Small Ruminants: An Overview, *Ruminants*, 2022, Vol. 2, No. 4, pp. 456–470, DOI: 10.3390/ruminants2040032.
12. Tihonov V.N., Zhuchaev K.V., *Mikroevoljucionnaja teorija i praktika porodoobrazovanija svinej* (Microevolutionary Theory and Practice of Pig Breeding), Novosibirsk, 2008, 395 pp. (In Russ.).
13. Henry O.O., Happiness I.E.N., Makuachukwu J.P.O., Applications of Genetic Distances on Blood-Group Gene Frequencies and Their Statistical Genetic Similarities, *AJPAS*, 2022, Vol. 20, No. 7, pp. 1–7, DOI: 2022/v20i130478.
14. Peschel S., Müller C.L., von Mutius E., Boulesteix A.-L., Depner M., NetCoMi: Network Construction and Comparison for Microbiome Data in R, *Briefings in Bioinformatics*, 2020, Vol. 22, No. 4, pp. bbaa290, DOI: 10.1093/bib/bbaa290.
15. Vaz C., Nascimento M., Carriço J.A., Rocher T., Francisco A.P., Distance-Based Phylogenetic Inference from Typing Data: A Unifying View, *Briefings in Bioinformatics*, 2021, Vol. 22, No. 3, pp. bbaa147, DOI: 10.1093/bib/bbaa147.
16. Kamvar Z.N., Tabima J.F., Grünwald N.J., Poppr: An R Package for Genetic Analysis of Populations with Clonal, Partially Clonal, and/or Sexual Reproduction, *PeerJ*, 2014, Vol. 2, pp. e281, DOI: 10.7717/peerj.281.
17. Shatohin K.S., Deeva V.S., Gonchareko G.M., Grishina N.B., Goryacheva T.S., Akulich E.G., Kononenko E.V., Ermolaev V.I., Nikitin S.V., *Vestnik NGAU*, 2014, Vol. 30, No. 1, pp. 75–80. (In Russ.)
18. Gorelov I.G., Savina M.A., Ermolaev V.I., *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki*, 2001, Vol. 3–4., pp. 81–87. (In Russ.)
19. Tihonov V.N., *Laboratornye mini-svin'i. Genetika i mediko-biologicheskoe ispol'zovanie* (Laboratory mini-pigs. Genetics and biomedical use), Novosibirsk, 2010, 304 pp. (In Russ.).
20. Kapanadze G.D., Aushev Zh.A., *Biomedicina*, 2007, Vol. 6, pp. 70–80. (In Russ.)
21. Dmitrieva G.L., Nabrodova N.M., Kolomnikov V.A., *Povyshenie effektivnosti selekcionno-plemennoj raboty*, Novosibirsk, 1992, pp. 52–57. (In Russ.)
22. Bekenev V.A., Deeva V.S., Frolova V.I., Botsan I.V., Frolova Yu.V., Orlova K.S., Podvintsev S.I., *Vestnik NGAU*, 2016, Vol. 41, No. 4, pp. 112–117. (In Russ.)
23. Gorelov I.G., *Biologiya sibirskogo kabana* (Biology of the Siberian wild boar), Novosibirsk, 1994. 82 p. (In Russ.)
24. Tikhonov V.N., *Ispol'zovanie grupp krovi pri selekcii zhivotnyh* (The use of blood groups in animal breeding), Moscow, 1967, 391 p. (In Russ.)
25. Shitikov V.K., Mastitsky S.E., *Klassifikaciya, regressiya i drugie algoritmy Data Mining s ispol'zovaniem R* (Classification, regression, and other Data Mining algorithms using R), Tol'yatti; London, 2017, 351 p (In Russ.)
26. Wang W., Kaffo M., Bootstrap Inference for Instrumental Variable Models with Many Weak Instruments, *Journal of Econometrics*, 2016, Vol. 192, No. 1, pp. 231–268, DOI: 10.1016/j.jeconom.2015.12.016.
27. Wright K., Will the Real Hopkins Statistic Please Stand Up? *The R Journal*, 2022, Vol. 14, No. 3, pp. 282–292, DOI: 10.32614/RJ-2022-055.
28. Kassambara A., *Practical Guide To Cluster Analysis in R. Unsupervised Machine Learning.*, 1st ed.; STHDA, 2017, URL: <https://xsluulab.github.io/Workshop/2021/week10/r-cluster-book.pdf>.
29. Grzhbovskij A.M., Gorbatova M.A., Narkevich A.N., Vinogradov K.A., *Morskaya medicina*, 2020, Vol. 6, No. 1, pp. 101–106, DOI: 10.22328/2413-5747-2020-6-1-101-106. (In Russ.)
30. Bujang M.A., An Elaboration on Sample Size Determination for Correlations Based on Effect Sizes and Confidence Interval Width: A Guide for Researchers, *Restor Dent Endod*, 2024, Vol. 49, No. 2, pp. e21, DOI: 10.5395/rde.2024.49.e21.
31. Pruim R., Kaplan D.T., Horton N.J., The Mosaic Package: Helping Students to Think with Data Using R, *The R Journal*, 2017, Vol. 9, No. 1, pp. 77, DOI: 10.32614/RJ-2017-024.
32. Ali Abd AlHameed K., Spearmans correlation coefficient in statistical analysis, *IJNAA*, 2022, T. 13, No 1, pp. 3249–3255, DOI: 10.22075/ijnna.2022.6079.
33. Guo K., Li X., Du H., Mao F., Ni C., Chen Q., Xu Y., Huang Z., Wavelet Vegetation Index to Improve the Inversion Accuracy of Leaf V25cm_{max} of Bamboo Forests, *Remote Sensing*, 2023, Vol. 15, No. 9, pp. 2362, DOI: 10.3390/rs15092362.
34. Kabanov V.D., Terent'eva A.S., *Porody svinej* (The breeds of pigs). Moscow, 1985, 336 p. (In Russ.)
35. Gudilin I.I., Dement'ev V.N., Tarakanov E.A., *Kemerovskaya poroda svinej* (Kemerovo pig breed), Novosibirsk, 2003, 387 p. (In Russ.)
36. Ranketse M., Hefer CA, Pierneef R, Fourie G, Myburg AA., Genetic diversity and population structure analysis reveals the unique genetic composition of South African selected macadamia accessions, *Tree Genetics & Genomes*, 2022, Vol. 18, No. 2, pp. 15, DOI: 10.1007/s11295-022-01543-0.

37. Pérez-González J., Carranza J., Anaya G., Brogini C., Vedel G., de la Peña E., Membrillo A., Comparative Analysis of Microsatellite and SNP Markers for Genetic Management of Red Deer, *Animals*, 2023, Vol. 13, No. 21, pp. 3374, DOI: 10.3390/ani13213374.
38. Barsukova M.A., Petrov A.F., Narozhnyh K.N., *Dostizheniya Nauki I Tekhniki Apk*, 2025, Vol. 39, No 2. pp. 52–57, URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80645325>. (in Russ.)

Сведения об авторах:

К.С. Шатохин, старший научный сотрудник лаборатории прикладной биоинформатики, кандидат биологических наук

С.В. Никитин, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики и селекции сельскохозяйственных животных, кандидат биологических наук

Н.Н. Кочнев, доктор биологических наук, профессор

Contribution of the authors:

K.S. Shatokhin, Senior Researcher at the Laboratory of Applied Bioinformatics, Candidate of Biological Sciences

S.V. Nikitin, Senior Researcher at the Laboratory of Molecular Genetics and Breeding of Farm Animals, Candidate of Biological Sciences

N.N. Kochnev, Doctor of Biological Sciences, professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

В статье «Видовой состав насекомых на листовеннице в насаждениях Центрального сибирского ботанического сада СО РАН», авторы Попова Н.В., Зенкова А.А., Банаев Е.В., Гаврилова Д.Ю., Чуклин И.В., Рейзвих Н.С. (<https://doi.org/10.31677/2072-6724-2025-77-4-93-100>), опубликованной в «Вестник НГАУ» № 4(77)/2025, добавлен источник финансирования: при финансовой поддержке Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 30-2025-000957.

