

ВЕСТНИК НГАУ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
VESTNIK NGAU NOVOSIBIRSK STATE AGRARIAN UNIVERSITY



№4(77)
2025

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК НГАУ

Новосибирский
государственный
аграрный
университет

Научный журнал

№ 4(77)2025

Н.Н. Кочнев

главный редактор,
доктор биологических наук,
профессор

Учредитель:
ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный
аграрный университет»

Основан
в декабре 2005 года

Зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи и массовых
коммуникаций

ПИ № ФС 77-35145
29.01.2009.

Материалы издания
выборочно включаются
в международные базы данных
Agris, Ulrich's Periodicals Directory

Russian Science
Citation Index

Электронная версия журнала
на сайте: www.elibrary.ru

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

Подписной индекс издания 94091
Тираж 500 экз.

Редакционный совет:

Рудой Е.В. – д-р экон. наук, чл.-корр. РАН., ректор ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, председатель редакционной коллегии (Новосибирск, Россия)

Кочнев Н.Н. – д-р биол. наук, проф., зав. кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, главный редактор (Новосибирск, Россия)

Жучаев К.В. – д-р биол. наук, проректор по научной работе ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, зам. главного редактора (Новосибирск, Россия)

Редакционная коллегия:

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 Новосибирский ГАУ (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. кафедры биотехнологии и микробиологии Казахского агротехнического 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 Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Галеев Р.Р. – д-р с.-х. наук, профессор кафедры растениеводства и кормопроизводства ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Гамзиков Г.П. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Гончаров Н.П. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник ФИЦ ИЦиГ СО РАН (Новосибирск, Россия)

Добролюбовская Н.И. – д-р с.-х. наук, гл. науч. сотрудник СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Донченко А.С. – д-р вет. наук, акад. РАН, руководитель ИЭВСиДВ Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (Новосибирск, Россия)

Дубовский И.М. – д-р биол. наук, зав. лабораторией биологической защиты и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Камалдинов Е.В. – д-р биол. наук, доцент, зав. кафедрой прикладной биоинформатики ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Капустянчик С.Ю. – д-р с.-х. наук, директор СибНИИРС ИЦиГ СО РАН (Новосибирск, Россия)

Кашеваров Н.И. – д-р с.-х. наук, акад. РАН, руководитель СибНИИ кормов СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Костомахин Н.М. – д-р биол. наук, проф. кафедры молочного и мясного скотоводства РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

Кочетов А.В. – д-р биол. наук, академик РАН, директор ФИЦ ИЦиГ СО РАН (Новосибирск, Россия)

Магер С.Н. – д-р биол. наук, проф., руководитель СибНИПТИЖ СФНЦА РАН (Новосибирск, 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 Новосибирский ГАУ (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, директор Института агробиотехнологий НГАУ (Новосибирск, Россия)

Петухов В.Л. – д-р биол. наук, проф., профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (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 с.-х. наук, директор центра инновационной биологии и медицины НАН Таджикистана (Душанбе, Таджикистан)

Солошенко В.А. – д-р с.-х. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник СибНИПТИЖ СФНЦА РАН (Новосибирск, 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*

Подписано в печать 28 ноября 2025 г. Дата выхода в свет 23 декабря 2025 г. Свободная цена.

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

Гарнитура «Times New Roman». Заказ № 2848.

Отпечатано в ИЦ НГАУ «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 NGAU

**Novosibirsk
State
Agrarian
University**

Scientific journal

No. 4(77)2025

H.H. Kochnev
**Editor-in-Chief,
Doctor of Biological Sc.
Professor**

**The founder is Federal State State-
Funded
Educational Institution
of Higher Education
“Novosibirsk State
Agrarian University”**

**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 77-35145
29.01.2009.**

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

**Russian Science
Citation Index**

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

Address:
630039, Novosibirsk,
160 Dobrolyubova Str., office 106
VESTNIK NGAU
of Novosibirsk State Agrarian University
Tel: +7 (383) 264–23–62;
Fax: +7 (383) 264–25–46
E-mail: vestnik.nsau@mail.ru

Subscription index is 94091

Circulation is 500 issues

Editors:

Rudoy E.V. – D.Sc. (Econ.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Rector of the Novosibirsk State Agrarian University, Chairman of the Editorial Board (Novosibirsk, Russia)

Kochnev N.N. – D.Sc. (Biol.), Professor, Head of the Department of Veterinary Genetics and Biotechnology of the Novosibirsk State Agrarian University, Editor-in-Chief (Novosibirsk, Russia)

Zhuchayev K.V. – D.Sc. (Biol.), Vice-Rector for Research, Novosibirsk State Agrarian University, Deputy Editor-in-Chief (Novosibirsk, Russia)

Editorial Board:

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, Novosibirsk State Agrarian University (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, Department of Biotechnology and Microbiology, S. Seifullin Kazakh Agro-technical 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, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Galeev R.R. – D.Sc. (Agr.), Professor of the Department of Plant Growing and Forage Production, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Gamzikov G.P. – D.Sc. (Biol.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, 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)

Dobrovorskaya N.I. – D.Sc. (Agr.), Chief Researcher Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Donchenko A.S. – D.Sc. (Vet.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Institute of the Veterinary Medicine of the Siberian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Dubovsky I.M. – D.Sc. (Biol.), Head of the Laboratory of Biological Protection and Biotechnology, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Kamal'tdinov E.V. – D.Sc. (Biol.), Associate Professor, Head of the Department of Applied Informatics Novosibirsk State Agrarian University (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, Russia)

Kashevarov N.I. – D.Sc. (Agr.), Head of the Siberian Research Institute of Feed SFSCARAS (Novosibirsk, Russia)

Kostomakhin N.M. – D.Sc. (Biol.), Professor of the Department of Dairy and Beef Cattle Breeding 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, Russia)

Mingjun Liu. – Professor, Director of the Institute of Animal Biotechnology of the Chinese Academy of Animal Science (Xinjiang, China)

Nozdin G.A. – D.Sc. (Vet.), Prof., Professor, Department of Pharmacology and General Pathology, Novosibirsk State Agrarian University (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.), Director of the Institute of Agrobiotechnology, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Petukhov V.L. – D.Sc. (Biol.), Prof., Professor, Department of Veterinary Genetics and Biotechnology, Novosibirsk State Agrarian University (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. (Agr.), Director of the Center for Innovative Biology and Medicine 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, 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.*

Signed to the press on November 28, 2025. Date of publication December 23th 2025. 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. 2848.

Printed in “Zolotoy Kolos” Publ. of Novosibirsk State Agrarian University
160 Dobrolyubova Str., office 106, 630039 Novosibirsk. Tel.: +7 (383) 267-09-10
E-mail: 2134539@mail.ru



ПАМЯТИ НИКОЛАЯ НИКОЛАЕВИЧА КОЧНЕВА

18 ноября 2025 г. на шестьдесят первом году жизни скончался замечательный ученый, педагог Николай Николаевич Кочнев, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой ветеринарной генетики и биотехнологии Новосибирского ГАУ, главный редактор журнала «Вестник НГАУ».

После окончания школы с отличием в казахском городе Кызыл-Орда Николай Николаевич поступил в Новосибирский сельскохозяйственный институт на специальность «Селекция и генетика». С первого курса обучения Николай Николаевич интересовался генетикой животных и занимался научными исследованиями в этой области, с энтузиазмом выступал с докладами на конференциях разного уровня организации. В 1987 г. он с отличием окончил Новосибирский сельскохозяйственный институт и поступил в очную аспирантуру, после завершения которой успешно защитил кандидатскую диссертацию. В течение последующих десяти лет Николай Николаевич проводил исследования по теме докторской диссертации «Устойчивость крупного рогатого скота Западной Сибири к наследственно-средовым болезням». В 2004 г. Николаю Николаевичу была присвоена ученая степень доктора биологических наук, а спустя два года – звание профессора.

Трудовой путь Николая Николаевича в университете связан с кафедрой ветеринарной генетики и биотехнологии. Обладая глубокими знаниями в области селекции и генетики животных, Николай Николаевич демонстрировал высокие лидерские способности руководителя. С 2001 г. исполнял обязанности заведующего кафедрой и заместителя декана факультета заочного образования. С 2005

по 2013 г. работал деканом факультета заочного образования и заместителем директора Института заочного образования и повышения квалификации. Следующий этап в карьере Николая Николаевича (2013–2021 гг.) был связан с руководством отделом по научно-инновационной деятельности университета. С 2020 г. работал заведующим кафедрой ветеринарной генетики и биотехнологии.

Он увлекательно читал лекции для студентов биолого-технологического и ветеринарного факультетов по генетике, селекции и биотехнологии. Под его руководством студенты становились лауреатами стипендии Президента РФ, правительства НСО и мэрии г. Новосибирска, призерами межвузовских научных конференций, имели научные публикации.

Николай Николаевич имел широкий научный кругозор, его активно приглашали для участия в жюри для оценки научных работ конкурса «УМ-НИК», а также докладов по секции «Сельскохозяйственные науки» международной научной студенческой конференции.

Под его научным руководством защитились четыре кандидата наук. Научная деятельность Николая Николаевича характеризовалась высокой публикационной активностью: более 250 научных работ, в том числе за рубежом – 82, в центральных журналах – 41 статья, монографий – 4, учебных пособий – 10, патентов на изобретения – 4.

С 1994 по 2005 гг. он являлся ученым секретарем докторского диссертационного совета. Николай Николаевич активно работал в двух диссертационных советах университета, являлся главным редактором научного журнала «Вестник НГАУ», был членом экспертного совета Фонда содействия инновациям и НОЦ Агробiotехнология при Минобрнауки НСО.

За плодотворную учебную и научную деятельность Николай Николаевич был награжден почетными грамотами Министерства образования и науки РФ (2006), Министерства сельского хозяйства Новосибирской области (2016), мэрии г. Новосибирска (2015). Он являлся лауреатом «Государственной стипендии РАН» (1997–1999), внутривузовского гранта (2000), стипендии администрации НСО (2002). В 2011 г. ему было присвоено звание «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации».

Николай Николаевич был яркой личностью, отзывчивым, уверенным человеком, который всегда был готов прийти на помощь.

Коллектив университета, редакция журнала выражают глубокие соболезнования родным и близким по случаю тяжелой утраты.

АГРОНОМИЯ

AGRONOMY

Андросова Д.Н., Данилова Н.С. Сроки определения энергии прорастания семян некоторых видов декоративных растений	Androsova D.N., Danilova N.S. Termination of germination energy of seeds of some ornamental plant species	7
Бопп В.Л., Кураченко Н.Л. Влияние физических свойств субстратов на ризогенез черенков смородины черной (<i>Ribes nigrum</i> L.)	Bopp V.L., Kurachenko N.L. Influence of physical properties of substrates on rhizogenesis of black currant cuttings (<i>Ribes nigrum</i> L.)	16
Гаврилова А.Ю., Конова А.М., Самсонова Н.Е. Эффективность некорневой подкормки клевера лугового (<i>Trifolium pratense</i> L.) препаратом келик-калий-кремний на разных фонах фосфорно-калийного питания в условиях Центрального Нечерноземья	Gavrilova A.Yu., Konova A.M., Samsonova N.E. The effectiveness of foliar top dressing of meadow clover (<i>Trifolium pratense</i> L.) with the preparation kelik-potassium-silicon on different backgrounds of phosphorus-potassium nutrition in the conditions of the Central Non-Chernozem region	24
Емельяненко В.И., Федотова А.В. Изучение запасов неорганического углерода в условиях аридного климата	Emelyanenko V.I., Fedotova A.V. Study of inorganic carbon reserves in an arid climate	35
Жуйкова О.А., Баталова Г.А. Формирование пленчатых зерен у линий овса голозерного	Zhuikova O.A., Batalova G.A. Formation of husker grains in naked oat lines	45
Золотарев В.Н., Острикова М.Г. Дифференцированное применение удобрений на семенных посевах житняка гребневидного в условиях степной зоны Центрально-Черноземного района	Zolotarev V.N., Ostrikova M.G. Differentiated application of fertilizers on seed crops of buckwheat in the steppe zone of the Central Chernozem region	54
Осинцева Л.А., Федосенко А.О., Петухов В.Л., Жёлтиков А.И., Маренков В.Г. Реализация биоресурсного потенциала базилика обыкновенного, <i>Ocimum basilicum</i> L. сорта Стелла в условиях вертикальных ферм методами агробиофотоники	Osintseva L.A., Fedosenko A.O., Petukhov V.L., Zheltikov A.I., Marenkov V.G. Realization of the bioresource potential of common basil, <i>Ocimum basilicum</i> L. Stella varieties in vertical farms by agrobiophotonics methods	64
Петров А.Ф., Галеев Р.Р., Макарова К.С., Колбина О.Н., Петров Н.А. Изучение влияния азотных удобрений на рост и развитие капусты белокочанной	Petrov A.F., Galeev R.R., Makarova K.S., Kolbina O.N., Petrov N.A. Study of the effect of nitrogen fertilizers on the growth and development of white cabbage	77
Пехова О.А., Тимашева Л.А., Данилова И.Л., Белова И.В. Фитохимический скрининг растений <i>Helichrysum italicum</i> , выращенных в предгорной зоне Крыма	Pekhova O.A., Timasheva L.A., Danilova I.L., Belova I.V. Phytochemical screening of <i>Helichrysum italicum</i> plants grown in the foothill zone of Crimea	83
Попова Н.В., Зенкова А.А., Банаев Е.В., Гаврилова Д.Ю., Чуклин И.В., Рейзвич Н.С. Видовой состав насекомых на лиственнице в насаждениях Центрального сибирского ботанического сада СО РАН	Popova N.V., Zenkova A.A., Banaev E.V., Gavrilova D.Yu., Chuklin I.V., Reizvich N.S. Species composition of insects on larch in the plantings CSBG SB RAS (Novosibirsk)	93
Постников П.А., Васина О.В., Овчинников П.Ю., Цепилова М.В. Влияние режима влажности темно-серой лесной почвы на урожайность яровой пшеницы	Postnikov P.A., Vasina O.V., Ovchinnikov P.Yu., Tsepilova M.V. Influence of moisture regime of dark gray forest soil on spring wheat yield	101
Садохина Т.А., Данилов В.П., Петров А.Ф., Познахарева О.А., Денисов К.Е. Разработка сортовой технологии нового сорта ярового рапса для условий Западной Сибири	Sadokhina T.A., Danilov V.P., Petrov A.F., Poznakhareva O.A., Denisov K.E. Development of a new variety of spring canola for the conditions of Western Siberia	112
Ульрих Е.В., Подашев Д.Б., Фролова Н.А., Качанова А.В. Физико-химические свойства люпина, произрастающего в Калининградской области	Ulrikh E.V., Podashev D.B., Frolova N.A., Kachanova A.V. Physicochemical properties of lupine growing in the Kaliningrad region	120
Цветкова В.П., Масленникова В.С., Шелихова Е.В., Круговых А.А., Якимчук Е.А., Мирошник М.И., Табанюхов К.А. Эффективность биопрепаратов на подсолнечнике в Новосибирской области	Tsvetkova V.P., Maslennikova V.S., Shelikhova E.V., Krugovykh A.A., Iakimchuk E.A., Miroshnik M.I., Tabanykhov K.A. The effectiveness of biological preparations on sunflower in Novosibirsk Region	129
Чагин В.В., Жукова Е.Ю., Капсаргин А.И., Гаврилец Н.В., Иванов В.С. Особенности реализации картофелеводческого потенциала Хакасии	Chagin V.V., Zhukova E.Y., Kapsargin A.I., Gavrilets N.V., Ivanov V.S. Features of the realization of the potato-growing potential of Khakassia	138

ВЕТЕРИНАРИЯ, ЗООТЕХНИЯ
И БИОТЕХНОЛОГИЯVETERINARY, ANIMAL SCIENCES
AND BIOTECHNOLOGY

- Жигулин Т.А., Камалдинов Е.В., Пальчиков П.Н.**
Реализация генетического потенциала быков зарубежной селекции в племенных предприятиях Западной Сибири **150**
- Жигулин T.A., Kamaldinov E.V., Pal'chikov P.N.**
Implementation of the genetic potential of foreign-bred bulls in breeding farms of Western Siberia **150**
- Коновалова Т.В., Климанова Е.А., Тарасенко Е.И., Себежко О.И., Короткевич О.С., Петухов В.Л., Моружи И.В., Пищенко Е.В., Маренков В.Г.**
Связи генотипов BMPR-IB с показателями минерального обмена у овец романовской породы **161**
- Kononova T.V., Klimanova E.A., Tarasenko E.I., Sebezko O.I., Korotkevich O.S., Petuhov V.L., Moruzi I.V., Pishchenko E.V., Marenkov V.G.**
Associations of BMPR-IB genotypes with mineral metabolism indicators in romanov sheep **161**
- Красноперов А.С., Опарина О.Ю., Малков С.В., Белоусов А.И., Черницкий А.Е., Вершинина И.Ю.**
Применение композиции экстрактивных веществ древесной зелени пихты для коррекции иммунного статуса телят **170**
- Krasnoperov A.S., Oparina O.YU., Malkov S.V., Belousov A.I., Chernickij A.E., Vershinina I.YU.**
Application of a composition of extractive substances of fir wood greenery to correct the immune status of calves **170**
- Криворучко А.Ю., Каниболоцкая А.А., Сафарян Е.Ю., Криворучко О.Н., Скорых Л.Н.**
Однонуклеотидные полиморфизмы в гене FRY, ассоциированные с показателями мясной продуктивности у овец породы манчестерский мерин **177**
- Krivoruchko A.Yu., Kanibolockaya A.A., Safaryan E.Yu., Krivoruchko O.N., Skoryh L.N.**
Single nucleotide polymorphisms in the FRY gene associated with meat productivity in manych merino sheep breed **177**
- Куренинова Т.В., Пушкарёв И.А., Мартынов В.А., Евдокимов И.Ю., Иркитова А.Н., Дудник Д.Е., Ширманов М.В.**
Влияние выпаивания метабиотической кормовой добавки на рост телят **187**
- Kureninova T.V., Pushkarev I.A., Martynov V.A., Evdokimov I.YU., Irkitova A.N., Dudnik D.E., Shirmanov M.V.**
Effect of drinking a metabiotic feed additive on the growth of calves **187**
- Лашкова Т.Б., Петрова Г.В.**
Влияние фульвокислоты на биохимический статус стельных сухостойных коров **197**
- Lashkova T.B., Petrova G.V.**
The effect of fulvic acid on the biochemical status of mature dry cows **197**
- Леденева О.Ю., Ряснянский М.А., Дробот Е.В., Герунова Л.К., Герунов Т.В., Ким Хак Хен, Ермакова Л.П., Кильп А.С.**
Изучение фармакологической активности добавки на основе гинзенозида шестилетнего корня женьшеня в отношении вируса инфекционного бронхита кур **204**
- Ledeneva O.YU., Rysnyanskij M.A., Drobot E.V., Gerunova L.K., Gerunov T.V., Kim Hak Hen, Ermakova L.P., Kil'p A.S.**
Study of the pharmacological activity of a supplement based on ginsenoside of 6-year-old ginseng root against the infectious bronchitis virus of chickens **204**
- Лиходеевский Г.А., Минина О.А., Богатова П.С., Лиходеевская О.Е.**
Распад неравновесного сцепления в популяции молочного скота Свердловской области **217**
- Lihodeevskij G.A., Minina O.A., Bogatova P.S., Lihodeevskaya O.E.**
Linkage disequilibrium decay in the dairy cattle population of the Sverdlovsk region **217**
- Михайлов А.И., Моружи И.В., Калмыкова Г.В., Мадер С.Н., Пищенко Е.В., Севастеев С.В., Белоусов П.В., Кропачев Д.В.**
Результаты использования штаммов, выделенных из собственной кишечной микрофлоры молоди стерляди в качестве пробиотиков **226**
- Mihajlov A.I., Moruzi I.V., Kalmykova G.V., Mager S.N., Pishchenko E.V., Sevasteev S.V., Belousov P.V., Kropachev D.V.**
Results of the use of strains isolated from the intestinal microflora of juvenile sterlet as probiotics **226**
- Пonomarev С.В., Федоровых Ю.В., Ахмеджанова А.Б., Левина О.А., Ньюнгов П.А., Терганова Н.В.**
Влияние микробного белка на физиологическое состояние и тканевое распределение макро- и микроэлементов у нильской тилапии (*Oreochromis niloticus*) **236**
- Ponomarev S.V., Fedorovyh YU.V., Ahmedzhanova A.B., Levina O.A., Nyun'kov P.A., Terganova N.V.**
The effect of microbial protein on the physiological state and tissue distribution of macro- and microelements in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) **236**
- Серазетдинова Ю.Р., Колпакова Д.Е., Наик А., Плешивцев И.И., Асякина Л.К., Просяков А.Ю.**
Транскриптомика в XXI веке: обзор достижений и ограничений **247**
- Serazetdinova Yu.R., Kolpakova D.E., Naik A., Pleshivcev I.I., Asyakina L.K., Prosekov A.Yu.**
Transcriptomics in the 21st century: a review of achievements and limitations **247**
- Стрижкова М.В., Коновалова Т.В., Короткевич О.С., Петухов В.Л., Кочнева М.Л., Моружи И.В., Пищенко Е.В., Маренков В.Г.**
Роль генотипа отцов в аккумуляции кальция в печени потомков быков голштинской породы **262**
- Strizhkova M.V., Kononova T.V., Korotkevich O.S., Petuhov V.L., Kochneva M.L., Moruzi I.V., Pishchenko E.V., Marenkov V.G.**
The role of the paternal genotype in the accumulation of calcium in the liver of descendants of holstein bulls **262**

Суржикова Е.С., Веремеенко О.С., Михайленко Т.Н. Полиморфизм генов GH, TG, LEP и его взаимосвязь с жи- вой массой у молодняка казахской белоголовой породы	Surzhikova E.S., Veremeenko O.S., Mikhailenko T.N. Polymorphism of the GH, TG, and LEP genes and its relationship to body weight in young kazakh white-headed cattle	270
Тарасенко Е.И., Коновалова Т.В., Короткевич О.С., Петухов В.Л., Морузи И.В., Маренков В.Г., Пищенко Е.В., Желтиков А.И. Ассоциация некоторых показателей белкового, липидного и минерального обменов с тяжелыми металлами в органах и тканях овец романовской породы	Tarasenko E.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petuhov V.L., Moruzi I.V., Marenkov V.G., Pishchenko E.V., Zheltikov A.I. Association of some indicators of protein, lipid and mineral metabolism with heavy metals in organs and tissues of romanov sheep	280
Юшкова Л.Я., Донченко А.С., Стеблева Г.М., Юдаков А.В., Мельцов И.В. Эпизоотологический мониторинг и анализ нозологической структуры социально значимых болезней животных в Рос- сийской Федерации в 2019–2023 гг., тенденции совершен- ствования мер по их профилактике	Yushkova L.Ya., Donchenko A.S., Stebleva G.M., Yudakov A.V., Mel'cov I.V. Epizootological monitoring and analysis of the nosological structure of socially significant animal diseases in of the Russian Federation in the period from 2019–2023 years, trends in improving measures for their prevention	289
ХРОНИКА, СОБЫТИЯ, ФАКТЫ	CHRONICLE, EVENTS, FACTS	
К 70-летию Л.Н. Коробовой	On the 70th anniversary of L.N. Korobova	299

АГРОНОМИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-7-15

УДК 581.143.28:581.142:581.48:635.9

СРОКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН НЕКОТОРЫХ
ВИДОВ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ

Д.Н. Андросова, Н.С. Данилова

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия

E-mail: dar.7600@mail.ru

Для цитирования: Андросова Д.Н., Данилова Н.С. Сроки определения энергии прорастания семян некоторых видов декоративных растений // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 7–15. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-7-15.

Ключевые слова: Энергия прорастания, лабораторная всхожесть, декоративные растения, Якутия.

Реферат. Для получения высокого урожая каждой культуры решающими факторами являются высокие показатели энергии прорастания и лабораторной всхожести их семян. В статье на примере четырех видов декоративных растений лилии пенсильванской (*Lilium pensylvanicum*), живокости крупноцветковой (*Delphinium grandiflorum*), шлемника байкальского (*Scutellaria crassifolia*) и бадана толстолистного (*Bergenia crassifolia*) изложены ход и результаты расчетов по установлению сроков определения энергии прорастания их семян. В целом определены основные посевные качества семян 24 видов декоративных растений, рекомендуемых для широкого размножения в целях озеленения населенных пунктов Якутии. Работа проводилась на базе коллекции природной флоры Якутии ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны СО РАН. Испытывались семена разных годов сбора. В общем счете число проб составило от пяти гвоздики пышной (*Dianthus superbus*) до пятидесяти пяти мака стройного (*Papaver nudicaule* subsp. *gracile*). Показано, что характер прорастания семян изученных видов неоднозначен, различны и сроки определения энергии прорастания их семян, которые колеблются от трех дней для гвоздики разноцветной (*Dianthus versicolor*) до пятнадцати – водосбора сибирского (*Aquilegia sibirica*). Проведена статистическая и математическая обработка экспериментальных данных с применением программы MS Excel. Полученные данные представляют значительный интерес для использования в декоративном цветоводстве, в научно-исследовательской работе при изучении качества семян, а также в других опытах в практике семеноведения.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России по проекту «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование» (код научной темы: FWRS-2021-0023; номер гос. регистрации в ЕГИСУ – AAAA-A21-121012190038).

TERMINATION OF GERMINATION ENERGY OF SEEDS OF SOME ORNAMENTAL
PLANT SPECIES

D.N. Androsova, N.S. Danilova

Institute of Biological Problems of Permafrost SB RAS, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

E-mail: dar.7600@mail.ru

Keywords: Germination energy, laboratory germination, ornamental plants, Yakutia.

Abstract. To obtain a high yield of each crop, a decisive factor is high indicators of germination energy and laboratory germination of their seeds. In the article on the example of four species of ornamental plants *Lilium pensylvanicum*, *Delphinium grandiflorum*, *Scutellaria crassifolia* and *Bergenia crassifolia* the course and results of calculations to establish the timing of determining the germination energy of their seeds are outlined. In general, the main sowing qualities of 24 species of ornamental plants recommended for wide propagation for landscaping of settlements of Yakutia were determined. The work was carried out on the basis of the collection of natural flora of Yakutia at the Botanical Garden of the Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS. Seeds of different years of collection were tested. In total, the number of samples ranged from 5 *Dianthus superbus* to 55 *Papaver nudicaule* subsp. *gracile*. It is shown that the character of germination of seeds of the studied

*species is ambiguous, the terms of determining the germination energy of their seeds are also different, which vary from 3 days for *Dianthus versicolor* to 15 days for *Aquilegia sibirica*. Statistical and mathematical processing of experimental data using MS Excel program was carried out. The obtained data are of considerable interest for use in ornamental floriculture, research work in the study of seed quality, as well as in other experiments in the practice of seed science.*

При работе с сельскохозяйственными культурами наравне со всхожестью важнейшим показателем качества посевного материала является энергия прорастания семян. Под этим термином понимают количество нормально проросших семян в течение установленного срока, выраженное в процентах от количества семян, взятых для определения всхожести. Для каждой культуры установлены свои сроки определения энергии прорастания и всхожести, и ее высокое значение рассматривают как решающий фактор получения высокого урожая. Для ряда распространенных видов, возделываемых в качестве декоративных, эфирно-масличных, лекарственных, произрастающих также в диком виде и на территории Якутии, установлены дни определения энергии прорастания и всхожести [1–12].

Для подавляющего числа видов природной флоры, не имеющих сельскохозяйственного значения, определение энергии прорастания представляется нецелесообразным. Для биологической характеристики семенного материала дикорастущих растений логичнее учитывать долю проросших семян на 3-, 5-, 7-, 10-е сут от начала постановки опыта или использовать такие показатели, как T_{25} или T_{50} – количество суток, за которое прорастают 25 или 50 % семян [13].

Семена дикорастущих растений характеризуются неоднозначностью продолжительности периода от посева до прорастания: он может составлять от одного до трех дней или затягиваться на длительное время. Многие авторы для дикорастущих растений предлагают единый день определения энергии прорастания на 5-е сут от начала прорастания [14–16]. Но, учитывая широкое разнообразие дикорастущей флоры, день определения энергии прорастания далеко не одинаков для семян различных видов.

Ботаническими садами Якутии разработан ассортимент декоративных растений природной флоры, рекомендуемый для озеленения населенных пунктов республики. Это устойчивые в культуре растения, ежегодно плодоносящие и размножающиеся семенами [17, 18].

Цель работы – установить день определения энергии прорастания и лабораторную всхожесть 24 декоративных видов флоры Якутии, используемых в озеленении.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследования – семена 24 декоративных видов природной флоры Якутии (табл. 1).

Посевные качества (ход и характер прорастания, лабораторная всхожесть) семян декоративных растений изучались с 2014 по 2023 гг. Работа проводилась на базе коллекции природной флоры Якутии ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны СО РАН. Сбор семян проводился в разные годы, в общем счете число проб составило от пяти (*Dianthus superbus*) до пятидесяти пяти (*Papaver nudicaule* subsp. *gracile*).

В течение 6 мес. семена хранились в бумажных пакетах в комнатных условиях при температуре 20–25 °С. Проращивали по 100 шт. в чашках Петри на бумажном ложе без какой-либо предварительной обработки. Семена увлажнялись по мере необходимости через 1–2 дня дистиллированной водой. Условиями прорастания семян являлись комнатная температура и естественное освещение (днем на свету, ночью в темноте). Подсчеты проросших семян проводились ежедневно от начала до конца прорастания. Семя считали проросшим при наличии корешка, размер которого равен семени. Началом прорастания семян считали день прорастания первого семени. Лабораторная всхожесть (ЛВ) определялась по числу проросших семян в процентах. Период учета энергии прорастания определяется средним минимальным количеством дней, в течение которых проросло максимум семян [15]. Отношение энергии прорастания к всхожести семян является показателем их посевных качеств.

Результаты исследований представлены в виде средней арифметической величины и ее стандартного отклонения. Расчет проводился с помощью программы MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определены посевные качества семян 24 видов декоративных растений, рекомендуемых для широкого размножения в целях озеленения населенных пунктов Якутии. Результаты по оценке всхожести и энергии прорастания семян (ЭП) представлены в табл. 1.

**Сроки определения энергии прорастания и усредненные показатели прорастания
семян декоративных растений**
Timing of determination of germination energy and average germination rates of ornamental plant seeds

Вид	n	Срок определения ЭП, сут		M±SD		
		Результаты опыта	ГОСТ	ЭП, %	ЛВ, %	ЭП/ЛВ, %
1. <i>Allium prostratum</i> Trev.	19	5	—	42,6±20,5	95,6±4,1	44,5±20,9
2. <i>Allium ramosum</i> L.	26	6	—	46,9±23,8	87,9±11,5	53,4±25,4
3. <i>Allium splendens</i> Willd. ex Schult. et. Schult. fil.	28	7	—	15,1±19,6	66,9±26,1	28,3±35,2
4. <i>Anemone sylvestris</i> L.	21	13	—	18,6±12,1	64,9±18,9	27,1±16,4
5. <i>Aquilegia parviflora</i> Ledeb.	17	10	—	37,1±31,6	86,1±13,8	41,8±33,4
6. <i>Aquilegia sibirica</i> Lam.	16	15	—	27,3±22,9	71,1±16,3	39,4±31,2
7. <i>Bergenia crassifolium</i> (L.) Fritsch	28	8	7*	50,3±24,5	72,7±19,9	70,4±26,8
8. <i>Delphinium grandiflorum</i> L.	22	7	10*	52,3±24,3	88,5±11,5	58,2±26,2
9. <i>Dianthus superbus</i> L.	5	5	—	50,6±6,2	94,8±4,6	53,3±4,5
10. <i>Dianthus versicolor</i> Fisch. ex Link.	28	3	—	37,3±24,1	92,0±8,4	41,2±26,5
11. <i>Dracocephalum nutans</i> L.	15	4	—	36,1±25,7	92,1±7,9	40,3±28,9
12. <i>Dracocephalum palmatum</i> Steph.	13	7	—	55,5±16,7	70,3±18,4	78,7±7,1
13. <i>Gagea pauciflora</i> (Turcz. ex Trautv.) Ledeb.	14	7	—	32,0±27,2	91,4±9,3	33,6±29,1
14. <i>Hemerocallis minor</i> Mill.	24	10	—	43,0±23,2	84,6±13,1	49,2±25,1
15. <i>Hesperis sibirica</i> L.	14	5	—	30,5±33,9	61,3±23,4	40,7±38,2
16. <i>Lilium pensylvanicum</i> Ker-Gawl.	27	10	—	57,5±12,9	92,4±8,5	62,4±13,3
17. <i>Lilium pilosiusculum</i> (Freyn) Miscz.	12	12	—	67,5±25,9	91,8±9,7	71,9±21,9
18. <i>Linum komarovii</i> Juz.	18	4	—	43,3±29,2	86,8±11,5	47,0±31,5
19. <i>Papaver nudicaule subsp. gracile</i> Tolm.	55	6	—	24,1±18,2	58,5±18,9	38,9±26,2
20. <i>Patrinia rupestris</i> (Pall.) Dufr.	20	4	—	18,3±21,9	35,4±12,3	24,9±29,3
21. <i>Phlomoideis tuberosa</i> (L.) Moench	13	4	—	42,7±21,5	85,9±14,8	47,9±18,8
22. <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	12	4	10**	65,2±32,4	93,7±5,2	70,6±35,8
23. <i>Veronica incana</i> L.	10	6	—	33,1±20,7	58,4±23,9	53,7±16,2
24. <i>Zigadenus sibiricus</i> (L.) A. Gray.	10	14	—	44,4±13,3	77,9±8,5	58,2±21,2

Примечание. n – число повторностей; ЭП – энергия прорастания семян, %; ЛВ – лабораторная всхожесть, %; M±SD – среднее значение ± стандартное отклонение; * – ГОСТ24933.0–81; ** – ГОСТ 34221–2017.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На примере *Lilium pensylvanicum*, *Delphinium grandiflorum*, *Bergenia crassifolia* и *Scutellaria baicalensis* показан ход установления сроков определения энергии прорастания их семян. Для трех из них, кроме *L. pensylvanicum*, известных как эфирно-масличные и лекарственные, установлены дни определения энергии прорастания по ГОСТу [11, 12].

Лилия пенсильванская (*Lilium pensylvanicum*) – красивоцветущее, многолетнее декоративное растение. Рекомендуется для цветников пейзажных композиций в сочетании с другими многолетниками [17, 18].

Энергия прорастания семян видов рода *Lilium* определяется на 9 сут [12]. Начало прорастания

семян приходится в среднем на восьмой день со дня постановки опыта. Наибольшее количество семян прорастает на 10-й день (55,7 %), что на одни сутки дольше показателей ГОСТа. Энергия прорастания составляет в среднем 57,5 %. Высокой энергией прорастания обладают семена урожая 2021 г. – 75,0 %, низкой – 2017 г. (34,0 %). Прорастание основной части семян (88,9 %) зафиксировано в течение 15 дней, после чего оно резко снижается. Лабораторная всхожесть семян лилии высока, находится в диапазоне от 64–77 до 100 % (в среднем составляет 92,4 %). Энергия прорастания в процентах от лабораторной всхожести в большинстве случаев оказалась на высоком уровне, значительная доля ее составляет 62,4 % (табл. 2).

Таблица 2

Показатели прорастания семян лилии пенсильванской (*Lilium pensylvanicum*)
Germination Rates of Pennsylvania Lily (*Lilium pensylvanicum*) Seeds

Год сбора	Кол-во семян, шт.	День подсчета.							ЭП, %	ЛВ, %	ЭП/ЛВ, %
		5-й	7-й	10-й	15-й	20-й	35-й	39-й			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2014	100	0	0	60	12	8	0	0	60	80	75,0
	100	4	4	56	20	4	0	0	64	88	72,7
	100	0	0	48	28	8	0	0	48	84	57,1
	100	0	2	69	23	3	0	0	71	97	73,2
	100	0	1	56	38	1	0	0	57	96	59,4
	100	0	1	58	26	1	0	0	59	86	68,6
	100	0	1	60	33	3	0	0	61	97	62,9
2016	100	0	0	40	43	7	2	0	40	92	43,5
	100	0	0	63	28	0	0	1	63	92	68,5
	100	0	0	50	38	4	0	0	50	92	54,3
	100	0	0	68	22	2	0	0	68	92	73,9
	100	0	0	48	24	4	0	0	48	76	63,2
	100	0	0	72	18	0	0	0	72	90	80,0
2017	100	0	0	24	58	8	0	0	24	90	26,7
	100	0	4	40	16	4	0	0	44	64	68,8
2021	100	2	8	72	10	4	0	0	82	96	85,4
	100	0	8	58	30	4	0	0	66	100	66,0
	100	0	2	72	16	8	0	0	74	98	75,5
	100	0	12	66	14	8	0	0	78	100	78,0
2022	100	0	0	50	48	0	0	0	50	98	51,0
	100	0	0	57	38	0	0	0	57	95	60,0
	100	0	0	50	45	2	0	0	50	97	51,5
	100	0	0	55	39	2	0	0	55	96	57,3
2023	100	0	0	46	53	1	0	0	46	100	46,0
	100	0	0	60	38	2	0	0	60	100	60,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	100	0	0	42	56	2	0	0	42	100	42,0
	100	0	0	64	34	2	0	0	64	100	64,0
M		0,22	1,6	55,7	31,4	3,4	0,07	0,03	57,5	92,4	62,4
±SD		0,8	3,1	11,5	13,6	2,7	0,4	0,2	12,9	8,5	13,3

Живокость крупноцветковая (Delphinium grandiflorum) рекомендуется для групповых посадок в партерах, миксбордерах, рабатках, каменистых садах на склонах [17, 18].

По ГОСТу условиями определения посевных качеств семян *Delphinium grandiflorum* считается переменная температура от 10 до 15 °С. Нами семена проращивались также при переменных температурах, но от 20 до 25 °С. При этом максимальное проращивание семян пришлось на седьмые сутки, что опережает показатели

ГОСТ 24933.0–81 на три дня [12]. Возможно, это связано с разными условиями проращивания или с особенностями якутской популяции *Delphinium grandiflorum*. Проращивание основной доли семян продолжается в течение десяти дней (82,7 %), после чего оно идет на убыль. Лабораторная всхожесть семян высокая, в зависимости от условий года варьирует от 54–74 до 100 % (в среднем составляет 88,5 %). На энергию проращивания приходится 52,3 % проросших семян, что составляет 58,2 % от всхожести (табл. 3).

Таблица 3

Показатели проращивания семян живокости крупноцветковой (*Delphinium grandiflorum*)
Germination rates of *Delphinium grandiflorum* seeds

Год сбора	Кол-во семян, шт.	День подсчета.						ЭП, %	ЛВ, %	ЭП/ЛВ, %
		3-й	5-й	7-й	10-й	15-й	19-й			
2014	100	0	0	52	41	7	0	52	100	52
	100	0	1	52	38	3	0	53	94	56,4
	100	0	0	56	36	3	0	56	95	58,94
	100	0	4	54	33	4	0	58	95	61,1
2016	100	0	3	84	5	3	0	87	95	91,6
	100	0	7	41	4	2	0	48	54	88,9
	100	2	6	78	7	1	0	86	94	91,5
	100	0	2	84	5	0	0	86	91	94,5
2017	100	0	0	2	58	14	0	2	74	2,7
	100	0	0	12	50	12	0	12	74	16,2
2021	100	0	0	32	38	6	0	32	76	42,1
	100	0	0	36	42	12	2	36	92	39,1
	100	0	0	54	20	8	0	54	82	65,9
	100	0	0	46	30	10	0	46	86	53,5
2022	100	0	4	69	16	4	0	73	93	78,5
	100	0	4	75	12	2	0	79	93	84,9
	100	0	2	48	26	5	0	50	81	61,7
	100	0	1	55	26	6	0	56	88	63,6
2023	100	0	22	26	52	0	0	48	100	48
	100	0	8	40	52	0	0	48	100	48
	100	0	10	60	30	0	0	70	100	70
	100	0	10	60	30	0	0	70	100	70
M		0,09	3,7	48,5	30,5	5,7	0,09	52,3	88,5	58,2
±SD		0,4	5,2	23,2	16,6	6,4	0,4	24,3	11,5	26,2

Бадан толстолистный (Bergenia crassifolia) в озеленении рекомендуют для самостоятельных и групповых посадок в сочетании со многими весеннецветущими многолетниками [17, 18].

Согласно ГОСТ 24933.0–81 рекомендуемые температуры проращивания семян бадана – постоянная 10 °С или переменная от 20 до 30 °С. Срок определения энергии прорастания по ГОСТу на седьмой день, всхожести – двадцатый день [12]. По результатам наших опытов в зависимости от года сбора начало прорастания в среднем отмече-

но на седьмой день. Продолжительность периода прорастания короче, чем у других видов – от 2 до 11–19 дней (в среднем – 6 дней). В зависимости от года сбора день максимального прорастания семян изменчив и в среднем составляет 8 дней, что приближено к норме, зафиксированной в ГОСТе. На восьмые сутки опыта прорастает 50 % семян. Лабораторная всхожесть в среднем составляет 72,7 %, варьируя от 32 до 100 % (табл. 4), находясь в зависимости от гидротермических условий года.

Таблица 4

Показатели прорастания семян бадана толстолистного (*Bergenia crassifolia*)
Germination rates of *Bergenia crassifolia* seeds

Год сбора	Кол-во семян, шт.	День подсчета.									ЭП, %	ЛВ, %	ЭП/ЛВ, %
		5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й	15-й	20-й	25-й			
2014	100	0	30	12	47	2	0	1	0	0	89	92	96,7
	100	3	45	7	34	6	2	3	0	0	89	100	89,0
	100	7	33	17	21	5	1	2	0	0	78	86	90,7
	100	2	19	32	23	5	0	0	0	0	76	81	93,8
2016	100	3	16	0	36	10	6	1	0	0	55	72	76,4
2017	100	0	0	3	0	19	9	40	5	2	3	78	3,8
	100	0	0	2	1	25	9	41	3	0	3	81	3,7
	100	0	0	2	2	8	8	63	3	0	4	86	4,7
2021	100	0	12	22	12	6	2	2	0	0	46	56	82,1
	100	0	20	22	32	4	0	0	0	0	74	78	94,9
	100	0	8	34	12	6	2	4	0	0	54	66	81,8
	100	0	24	26	20	2	0	4	0	0	70	76	92,1
2022	100	0	0	0	40	4	0	2	0	0	40	46	86,9
	100	0	0	0	40	4	0	0	0	0	40	44	90,9
	100	0	0	0	28	2	2	0	0	0	28	32	87,5
	100	0	0	0	30	2	2	0	0	0	30	34	88,2
2023	100	0	0	0	62	6	0	4	0	0	62	72	86,1
	100	0	0	0	50	22	0	6	0	2	50	80	62,5
	100	0	0	0	36	22	0	2	0	0	36	60	60,0
	100	0	0	0	34	34	0	2	0	0	34	70	48,6
	100	0	0	0	60	20	20	0	0	0	60	100	60,0
	100	0	0	0	78	0	22	0	0	0	78	100	78,0
	100	0	0	0	78	0	22	0	0	0	78	100	78,0
	100	0	0	0	64	12	24	0	0	0	64	100	64,0
	100	0	0	0	40	0	10	6	0	0	40	56	71,4
	100	0	0	0	42	4	4	6	0	2	42	58	72,4
	100	0	0	0	30	10	12	4	0	0	30	56	53,6
	100	0	0	0	56	2	8	10	0	0	56	76	73,7
M		0,5	7,4	6,4	36,0	8,6	5,9	7,3	0,4	0,2	50,3	72,7	70,4
±SD		1,5	12,6	10,9	21,1	8,8	7,6	15,0	1,2	0,6	24,5	19,9	26,8

Шлемник байкальский (*Scutellaria baicalensis*) – рекомендуется для грунтовых посадок ландшафтных композициях [17, 18].

Энергия прорастания семян *Scutellaria baicalensis* в соответствии с ГОСТом определяется на десятый день [11]. Начало прорастания семян отмечено в среднем на 3–4-й день со дня постановки опыта. Наибольшее количество семян прорастает на 4-й день (35,0 %), что на 6 дней ниже показателей ГОСТ 34221–2017 [11]. Энергия

прорастания составляет в среднем 65,9 %. Прорастание основной части семян (87 %) отмечено в течение семи дней, затем прорастание семян замедляется и единичные семена прорастают в течение недели. Лабораторная всхожесть семян высокая, в среднем составляет 93,7 % и колеблется от 82 до 100 %. Доля энергии прорастания в процентах от лабораторной всхожести составляет 70,6 % (табл. 5).

Таблица 5

Показатели прорастания семян шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis*)
Germination rates of Baikal skullcap (*Scutellaria baicalensis*) seeds

Год сбора	Кол-во семян, шт.	День подсчета.							ЭП, %	ЛВ, %	ЭП/ЛВ, %
		3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	10-й	14-й			
2014	100	4	20	8	28	16	4	20	24	100	24
	100	0	20	8	28	20	4	16	20	96	20,8
	100	4	20	12	28	20	4	12	24	100	24
	100	0	20	12	32	20	4	8	20	96	20,8
2021	100	66	18	2	0	0	2	0	84	88	95,5
	100	66	26	0	0	0	0	0	92	92	100
	100	58	26	8	0	0	0	0	84	92	91,3
	100	60	12	6	0	0	4	0	72	82	87,8
2022	100	28	60	1	3	0	2	0	88	94	93,6
	100	29	65	2	2	1	0	0	94	99	94,9
	100	24	65	3	0	1	0	0	89	93	95,7
	100	23	68	0	0	1	0	0	91	92	98,9
М		30,2	35,0	5,2	10,1	6,6	2	7,4	65,2	93,7	70,6
±SD		26,1	22,1	4,4	14,0	9,2	1,9	7,4	32,4	5,2	35,8

ВЫВОДЫ

1. День определения энергии прорастания семян дикорастущих видов видоспецифичен.

2. Срок определения энергии прорастания изученных видов варьирует от трех до пятнадцати дней. Самый ранний срок установлен для семян *Dianthus versicolor*, самый поздний – *Aquilegia sibirica*.

3. Энергия прорастания семян у основной части (46 %) изученных видов приходится на

5–8 день. Рано и дружно прорастают семена шести видов (25 %), у семи видов (29 %) срок определения энергии прорастания отмечается на 10–15-й день.

4. Семена якутских популяций *Delphinium grandiflorum* и *Scutellaria baicalensis* по срокам определения энергии прорастания семян опережают установленные в ГОСТе значения на три и шесть дней соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буч Т.Г. Вопросы хранения семян ив и тополей // Труды Главного ботанического сада. – Л., 1960. – Т. 7. – С. 219–230.
2. Флоря В.Н. Интродукция и акклиматизация растений в Молдавии (лекарственные, витаминосные, медоносные). – Кишинев, 1987. – 296 с.
3. Селиванова И.Р., Хайрулина Т.П. Определение посевных качеств семян культурных и декоративных растений // Заметки ученого. – 2023. – № 3. – С. 143–145.

4. Седельникова Л.Л., Челтыгмашева Л.Р. Морфология и всхожесть семян представителей рода *Hemerocallis* L. в условиях лесостепной зоны Западной Сибири // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 4. – С. 209–215.
5. Старостина М.А., Лапенко Н.Г. Всхожесть и энергия прорастания семян дикорастущего вида гвоздики Рупрехта (*Dianthus ruprechtii*) // Сельскохозяйственный журнал. – 2022. – № 1 (15). – С. 23–29. – DOI: 10.25930/2687-1254/003.1.15.2022.
6. Бекназарова Х.А., Наврузшоев Д. Лабораторная всхожесть и энергия прорастания семян некоторых видов растений, интродуцированных в условиях Памирского ботанического сада // Известия национальной академии наук Таджикистана. Отделение биологических наук. – 2024. – № 1 (224). – С. 17–23.
7. Baskin C.C., Baskin J.M. Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Second. – San Diego: Academic Press, 2014. – 1600 p.
8. Baskin J.M., Baskin C.C. Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. – London: Academic Press, 1998. – 700 p.
9. Deno N.C. Seed germination, theory and practice. – State College, Pa. The Author. – 1993. – 2nd ed. – 242 p.
10. ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М., 2011. – 30 с.
11. ГОСТ 34221–2017. Семена лекарственных и ароматических культур. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. – М., 2020. – 24 с.
12. ГОСТ 24933.0–81. Семена цветочных культур. Правила приемки и методы отбора проб. – М., 2003. – 23 с.
13. Бухаров А.Ф., Балеев Д.Н., Бухарова А.Р. Кинетика прорастания семян. Методы исследования и параметры // Известия ТСХА. – 2017. – Вып. 2. – С. 5–19.
14. Ходачек Е.А. Прорастание семян арктических растений // Проблемы репродуктивной биологии семенных растений. – Вып. 8. – СПб., 1993. – С. 126–134.
15. Фирсова М.К. Семенной контроль. – М., 1969. – 295 с.
16. Елисафенко Т.В. Изучение особенностей латентного периода растений на примере видов секции *Mirabiles* рода *Viola* (Violaceae) // Растительный мир Азиатской России. – 2012. – № 2 (10). – С. 66–72.
17. Данилова Н.С., Борисова С.З., Иванова Н.С. Декоративные растения Якутии: атлас-определитель. – М., 2012. – 248 с.
18. Петрова А.Е., Романова А.Е., Назарова Е.И. Интродукция деревьев и кустарников в Центральной Якутии. – Якутск, 2000. – 269 с.

REFERENCES

1. Buch T.G., *Trudy` Glavnogo botanicheskogo sada*, 1960, T. 7, pp. 219–230. (In Russ.)
2. Florya V.N., *Introdukciya i akklimatizaciya rastenij v Moldavii (lekarstvenny`e, vitaminonosny`e, medonosny`e)* (Introduction and acclimatization of plants in Moldova (medicinal, vitamin-bearing, honey-bearing)), Kishinev, 1987, 296 p.
3. Selivanova I.R., Xajrulina T.P., *Zametki uchenogo*, 2023, No. 3, pp. 143–145. (In Russ.)
4. Sedel`nikova L.L., Chelty`gmasheva L.R., *Vestnik KrasGAU*, 2018, No. 4, pp. 209–215. (In Russ.)
5. Starostina M.A., Lapenko N.G., *Sel`skoxozyajstvenny`j zhurnal*, 2022, No. 1 (15), pp. 23–29, DOI: 10.25930/2687-1254/003.1.15.2022. (In Russ.)
6. Beknazarova X.A., Navruzshoev D., *Izvestiya nacional`noj akademii nauk Tadzhhikistana. Otdelenie biologicheskix nauk*, 2024, No. 1 (224), pp. 17–23. (In Russ.)
7. Baskin C.C., Baskin J.M., *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Second, San Diego: Academic Press, 2014, 1600 p.
8. Baskin J.M., Baskin C.C., *Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination*, London: Academic Press, 1998, 700 p.
9. Deno N.C., *Seed germination, theory and practice*, State College, Pa. The Author, 1993, 2nd ed, 242 p.
10. *GOST 12038–84. Semena sel`skoxozyajstvenny`x kul`tur. Metody` opredeleniya vsxozhesti*, Moscow, 2011, 30 p. (In Russ.)
11. *GOST 34221–2017. Semena lekarstvenny`x i aromaticheskix kul`tur. Sortovy`e i posevny`e kachestva. Obshchetechnicheskie usloviya*, Moscow, 2020, 24 p. (In Russ.)
12. *GOST 24933.0–81. Semena czvetochny`x kul`tur. Pravila priemki i metody` otbora prob*, Moscow, 2003, 23 p. (In Russ.)
13. Buxarov A.F., Baleev D.N., Buxarova A.R., *Kinetika prorastaniya semyan. Metody` issledovaniya i parametry*, *Izvestiya TSXA*, 2017, Vy`p. 2, pp. 5–19. (In Russ.)
14. Xodachek E.A., *Problemy` reprodukivnoj biologii semenny`x rastenij*, Sankt-Peterburg, 1993, Vy`p. 8, pp. 126–134. (In Russ.)
15. Firsova M.K., *Semennoj kontrol`* (Seed control), Moscow, 1969, 295 p.
16. Elisafenko T.V., *Rastitel`ny`j mir Aziatskoj Rossii*, 2012, No. 2 (10), pp. 66–72. (In Russ.)

17. Danilova N.S., Borisova S.Z., Ivanova N.S., *Dekorativny'e rasteniya Yakutii: atlas-opredelitel'* (Ornamental Plants of Yakutia: A Guide to Plants), Moscow, 2012, 248 p.
18. Petrova A.E., Romanova A.E., Nazarova E.I., *Introdukciya derev`ev i kustarnikov v Central`noj Yakutii* (Introduction of trees and shrubs in Central Yakutia), Yakutsk, 2000, 269 p.

Информация об авторах:

Д.Н. Андросова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Н.С. Данилова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник

Contribution of the authors:

D.N. Androsova, Ph.D (Bio.), senior researcher

N.S. Danilova, D. (Biol.), chief researcher, professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СУБСТРАТОВ НА РИЗОГЕНЕЗ ЧЕРЕНКОВ СМОРОДИНЫ ЧЕРНОЙ (*RIBES NIGRUM* L.)

В.Л. Бопп, Н.Л. Кураченко

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

E-mail: vl_kolesnikova@mail.ru

Для цитирования: Бопп В.Л., Кураченко Н.Л. Влияние физических свойств субстратов на ризогенез черенков смородины черной (*Ribes nigrum* L.) // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 16–23. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-16-23.

Ключевые слова: смородина черная, зеленое черенкование, ризогенез, плотность твердой фазы, плотность сложения, общая пористость.

Реферат. Целью исследований явилась оценка влияния физических свойств субстратов на ризогенез черенков смородины черной. Эксперименты проведены в Красноярской лесостепи в ООО «Садовый центр Аграрного университета» в 2017–2019 гг. Размножение смородины черной сорта Минусинская степная проводили зелеными черенками по общепринятой методике М.Т. Тарасенко. Однолетние побеги срезали с маточных растений в первой декаде июля, нарезали на черенки с двумя междоузлиями, выдерживали в течение 12 ч в растворе индолил-3-уксусной кислоты и высаживали в защищенный грунт, выдерживая схему размещения 7×7 см. Основа для формирования субстратов – торфопесчаная смесь, использовали верховой кислый торф ($pH_{H_2O} = 3,1$) и песок в объемном соотношении 1 : 1 (контроль). Для нейтрализации кислотности торфа и обогащения субстрата элементами питания применяли сапропель ($pH_{H_2O} = 7,4$) из расчета 10, 15 и 20 т/га. В ряде вариантов дополнительно вносили аммиачную селитру дозе 30 кг д.в./га. Заложенные субстраты использовали беспрерывно в течение трех лет. Показано, что добавление сапропеля в дозе 20 т/га и аммиачной селитры в дозе N30 к смеси торфа и песка способствует повышению окореняемости черенков до 86 %, снижению величины плотности твердой фазы субстрата до $2,57 \text{ г/см}^3$, плотности сложения до $0,66 \text{ г/см}^3$ и повышению общей пористости до 74 %. Доказана сильная прямая связь между физическим состоянием субстратов и окореняемостью черенков смородины черной ($R = 0,85$), в которой достоверное влияние на ризогенез имела величина общей пористости ($p = 0,043$).

INFLUENCE OF PHYSICAL PROPERTIES OF SUBSTRATES ON RHIZOGENESIS OF BLACK CURRANT CUTTINGS (*RIBES NIGRUM* L.)

V.L. Bopp, N.L. Kurachenko

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: vl_kolesnikova@mail.ru

Keywords: black currant, green cuttings, rhizogenesis, solid phase density, bulk density, total porosity.

Abstract. The aim of the study was to assess the effect of the physical properties of substrates on the rhizogenesis of black currant cuttings. The experiments were conducted in the Krasnoyarsk forest-steppe at the Garden Center of the Agrarian University LLC in 2017–2019. The black currant variety Minusinskaya Stepnaya was propagated by green cuttings according to the generally accepted method of M.T. Tarasenko. One-year-old shoots were cut from mother plants in the first ten days of July, cut into cuttings with two internodes, kept for 12 hours in a solution of indole-3-acetic acid and planted in protected soil, maintaining a placement pattern of 7×7 cm. The basis for the formation of substrates is a peat-sand mixture, high-moor acidic peat ($pH_{H_2O} = 3,1$) and sand were used in a volume ratio of 1 : 1 (control). Sapropel ($pH_{H_2O} = 7,4$) was used at a rate of 10, 15 and 20 t/ha to neutralize peat acidity and enrich the substrate with nutrients. In some variants, ammonium nitrate was additionally added at a dose of 30 kg active ingredient/ha. The laid substrates were used continuously for three years. It was shown that the addition of sapropel at a dose of 20 t/ha and ammonium nitrate at a dose of N30 to a mixture of peat and sand promotes an increase in the rooting of cuttings to 86 %, a decrease in the density of the solid phase of the substrate to $2,57 \text{ g/cm}^3$, the bulk density to $0,66 \text{ g/cm}^3$ and an increase in the total porosity to 74 %. A strong direct relationship between the physical condition of the substrates and the rooting ability of black currant cuttings ($R = 0,85$) has been proven, in which the value of total porosity has a significant effect on rhizogenesis ($p = 0,043$).

Смородина черная (*Ribes nigrum* L.) – важная ягодная культура, она занимает наибольшие площади в садах России [1, 2]. Богатство биохимического состава, неприхотливость к условиям произрастания, зимостойкость, скороплодность и урожайность определяют ее ценность [3–6].

Размножение смородины черной зелеными черенками является высокоэффективным способом, позволяющим получить корнесобственные саженцы в промышленных масштабах за короткий период и снизить влияние метеорологических условий на регенерацию черенкового материала [7]. По мнению Н.А. Васильевой [8], при этом способе наблюдается высокий процент ризогенеза черенков, окореняемых в ранние сроки черенкования. Несмотря на то, что технология получения саженцев ягодных культур на основе зеленого черенкования достаточно хорошо изучена и широко применяется в питомниководстве, имеются значительные резервы повышения эффективности этого технологического процесса. Смородина черная хорошо отзывается на интенсификацию агротехнологических мероприятий [9]. Это свойство важно учитывать и при составлении субстратов для зеленого черенкования. Результативность окоренения черенкового материала в культивационных сооружениях определяется рядом факторов, в том числе характеристиками применяемых субстратов, вариации которых разнообразны: от однокомпонентных материалов до использования смесей органической и неорганической природы [10, 11]. Важно, чтобы субстраты, в которых происходит образование корней у черенков, были легкими, теплоемкими, имели оптимальное соотношение фаз, высокую общую пористость и пористость аэрации [12]. В связи с этим особую актуальность имеют исследования, связанные с подбором эффективных субстратов для зеленого черенкования смородины черной и оценкой их физического состояния.

Цель исследований – оценить влияние физических свойств субстратов на ризогенез черенков смородины черной.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в ООО «Садовый центр Аграрного университета» в Красноярской лесостепи в период 2017–2019 гг. Зеленое черенкование смородины черной сорта Минусинская степная осуществляли по общепринятой методике М.Т. Тарасенко (*Тарасенко М.Т. Размножение*

растений зелеными черенками. М.: Колос, 1967. 184 с.). Черенковый материал заготавливали в первой декаде июля, перед посадкой их выдерживали в растворе стимулятора корнеобразования индоллил-3-уксусной кислоте (ИУК) в течение 12 ч. Затем зеленые черенки высаживали в теплицу в субстрат в соответствии со схемой опыта. Площадь питания черенков 7×7 см. Выбор базового субстрата основан на доступности и дешевизне верхового торфа, который смешивали с песком в соотношении 1 : 1 по объему. Реакция среды верхового торфа кислая, $pH_{H_2O} = 3,1$. С целью нейтрализации кислотности торфа и обогащения субстрата элементами питания в торфопесчаную смесь вносили в различных дозах сапропель с $pH_{H_2O} = 7,4$. Минеральные удобрения применяли в виде аммиачной селитры в дозе 30 кг д.в. на 1 га. Эксперимент проводили на следующих версиях субстратов: 1 – торф + песок (контроль) (Т + П), 2 – торф + песок + сапропель 10 т/га (Т + П + С 10 т/га), 3 – торф + песок + сапропель 15 т/га (Т + П + С 15 т/га), 4 – торф + песок + сапропель 20 т/га (Т + П + С 20 т/га), 5 – торф + песок + N30 (Т + П + N30), 6 – торф + песок + сапропель 10 т/га + N30 (Т + П + С 10 т/га + N30), 7 – торф + песок + сапропель 15 т/га + N30 (Т + П + С 15 т/га + N30), 8 – торф + песок + сапропель 20 т/га + N30 (Т + П + С 20 т/га + N30). Субстраты использовали бесценно в течение трех циклов окоренения зеленых черенков смородины черной.

Размещение вариантов систематическое последовательное. Повторность опытов трехкратная, по 30 черенков в повторности. Отбор образцов субстратов на определение физических свойств проводили в трехкратной повторности в междурядьях окорененных черенков в третьей декаде сентября; затем определяли окореняемость черенков. В образцах определяли: влажность термовесовым методом, плотность твердой фазы пикнометрическим методом, плотность сложения по Н.А. Качинскому, общую пористость расчетным методом (*Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.*). Статистическую обработку полученного экспериментального материала проводили с использованием программ Excel и Statistica 10.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по оценке влияния физических свойств субстратов на ризогенез черенков смородины черной показали, что плотность твердой фазы контрольного субстрата как средней удель-

ной массы смеси торфа и песка в соотношении 1:1 за период наблюдений оценивалась величиной 2,61 г/см³ (табл. 1). Близкий уровень плотности твердой фазы (2,62 г/см³) выделялся на варианте субстрата, в котором к смеси торфа с песком добавлялась аммиачная селитра в дозе N30. Добавление сапропеля к субстрату в дозе 10, 15 и 20 т/га достоверно снижало плотность его твердой

фазы на 0,02–0,05 г/см³ на всех вариантах опыта, включая и дополнительное внесение аммиачной селитры ($p < 0,001$). Отмирание тонких корней в течение вегетации черенков и корневые остатки после выкопки черенков послужили фактором, определяющим закономерное снижение плотности твердой фазы субстратов на второй и третий год его использования ($C_v = 1–7 \%$).

Таблица 1

Плотность твердой фазы субстратов при окоренении черной смородины, г/см³, в среднем за 2017–2019 гг.
Density of the solid phase of substrates during black currant rooting, g/cm³, on average for 2017–2019

№ п/п	Вариант	$\bar{X} \pm Sx$	s	$X_{\min} - X_{\max}$	$C_v, \%$
1	Т + П (1:1)	2,61±0,10	0,04	2,55–2,65	2
2	Т + П + С 10 т/га	2,56±0,08	0,03	2,55–2,60	1
3	Т + П + С 15 т/га	2,59±0,14	0,06	2,57–2,68	2
4	Т + П + С 20 т/га	2,57±0,14	0,06	2,52–2,63	2
5	Т + П + N30	2,62±0,22	0,09	2,41–2,57	4
6	Т + П + С 10 т/га + N30	2,58±0,25	0,10	2,46–2,65	4
7	Т + П + С 15 т/га + N30	2,60±0,34	0,13	2,59–2,74	5
8	Т + П + С 20 т/га + N30	2,57±0,45	0,18	2,42–2,77	7
p_{05}		$p_{\text{вариант}} < 0,001; p_{\text{год}} < 0,001; p_{\text{взаимодействие}} < 0,001$			

Здесь и далее: $\bar{X}$ – среднее арифметическое; Sx – ошибка среднего; s – стандартное отклонение; $X_{\min} - X_{\max}$ – минимальное и максимальное значение; C_v – коэффициент вариации.

Минимальные значения величины плотности твердой фазы субстрата (2,51–2,42 г/см³) установлены на второй и третий год использования на вариантах опыта с добавлением к торфу и песку сапропеля в дозе 15 и 20 т/га в сочетании с аммиачной селитрой ($C_v = 5–7 \%$). Это подтверждает роль органического вещества корневых остатков в формировании его физического состояния.

Плотность сложения контрольного варианта в первый год использования субстрата перед выкопкой черенков находилась на оптимальном уровне для ягодных культур: 0,95 г/см³ (табл. 2).

На вариантах опыта с сапропелем и при его совмещении с минеральной подкормкой плотность снижалась на 0,05–0,26 г/см³ по сравнению с контролем. Минимальная величина плотности субстрата первого года использования отмечена на вариантах опыта Т + П + С 20 т/га и Т + П + С 20 т/га + N30 (0,76–0,69 г/см³), что соответствовало рыхлому сложению. В субстратах второго и третьего года использования отмечалось снижение параметра на всех вариантах опыта до величины, не превышающей 0,75 г/см³ ($C_v = 6–25 \%$).

Таблица 2

Плотность сложения субстратов при окоренении черной смородины, г/см³, в среднем за 2017–2019 гг.
Substrate bulk density during blackcurrant rooting, g/cm³, average for 2017–2019

№ п/п	Вариант	$\bar{X} \pm Sx$	s	$X_{\min} - X_{\max}$	$C_v, \%$
1	2	3	4	5	6
1	Т + П (1:1)	0,75±0,47	0,19	0,60–0,95	25
2	Т + П + С 10 т/га	0,70±0,40	0,16	0,54–0,86	23
3	Т + П + С 15 т/га	0,71±0,32	0,13	0,63–0,86	18
4	Т + П + С 20 т/га	0,67±0,19	0,08	0,62–0,76	12

1	2	3	4	5	6
5	Т + П + N30	0,73±0,41	0,17	0,59–0,91	23
6	Т + П + С 10 т/га + N30	0,71±0,44	0,18	0,62–0,90	25
7	Т + П + С 15 т/га + N30	0,74±0,45	0,18	0,60–0,90	24
8	Т + П + С 20 т/га + N30	0,66±0,09	0,04	0,62–0,69	6
	p_{05}	$p_{\text{вариант}} < 0,001; p_{\text{год}} < 0,001; p_{\text{взаимодействие}} < 0,001$			

Результаты дисперсионного анализа подтвердили достоверную роль фактора «вариант» и «год использования» в формировании плотности сложения субстратов ($p < 0,001$). В среднем за три года использования субстрата для окоренения зеленых черенков смородины черной максимальная плотность была отмечена на контрольном варианте (0,75 г/см³). Наименьшие значения величины плотности сложения субстрата перед выкопкой черенков получены на вариантах с внесением

сапропеля в дозе 20 т/га и совмещении сапропеля в этой дозе с минеральной подкормкой (0,67–0,66 г/см³) при незначительном и небольшом варьировании признака ($C_v = 6–18 \%$).

Величина общей пористости контрольного варианта и субстрата Т + П + N30 в среднем за период исследований оценивалась близкой величиной (71 %) и соответствовала отличному уровню (табл. 3).

Таблица 3

Общая пористость субстратов при окоренении черной смородины, г/см³, в среднем за 2017–2019 гг.
Total porosity of substrates during blackcurrant rooting, g/cm³, average for 2017–2019

№ п/п	Вариант	$\bar{X} \pm S_x$	s	$X_{\min} - X_{\max}$	$C_v, \%$
1	Т + П (1:1)	71,3±16,4	6,6	64,2–77,0	9
2	Т + П + С 10 т/га	72,2±15,2	6,1	66,8–78,8	8
3	Т + П + С 15 т/га	72,9±10,8	4,4	67,9–75,5	6
4	Т + П + С 20 т/га	73,9±8,8	3,6	69,8–76,4	5
5	Т + П + N30	71,3±15,5	6,2	64,6–77,0	9
6	Т + П + С 10 т/га + N30	72,5±15,4	6,2	64,9–76,3	9
7	Т + П + С 15 т/га + N30	71,5±14,7	5,9	65,0–76,8	8
8	Т + П + С 20 т/га + N30	74,1±4,7	1,9	71,9–75,3	3
	p_{05}	$p_{\text{вариант}} < 0,002; p_{\text{год}} < 0,001; p_{\text{взаимодействие}} < 0,001$			

Установлено, что дополнительные компоненты в виде сапропеля в разных дозах и аммиачной селитры существенно улучшали ризогенез черенков (рис. 1). Окореняемость черной смородины на контрольном субстрате с торфом и песком в среднем за годы исследований составляла 28 %. Добавление к торфу и песку аммиачной селитры в дозе N30 увеличивало окореняемость до 55 %. Лучшие условия для вегетативного размножения растений и развития корневой системы черенкового материала складывались при добавлении в субстрат сапропеля в дозе 15 и 20 т/га. На этих

вариантах опыта окореняемость растений черной смородины по сравнению с контролем увеличилась в 2,5–3,0 раза. Максимальный процент окорененных черенков смородины черной в среднем за период исследований выявлен на варианте опыта с добавлением к торфу и песку сапропеля в дозе 20 т/га и аммиачной селитры (86 %). Этот результат подтверждается достоверным влиянием величины общей пористости как физического параметра, функционально связанного с плотностью твердой фазы и плотностью сложения субстратов на окореняемость черенков ($p = 0,043$).

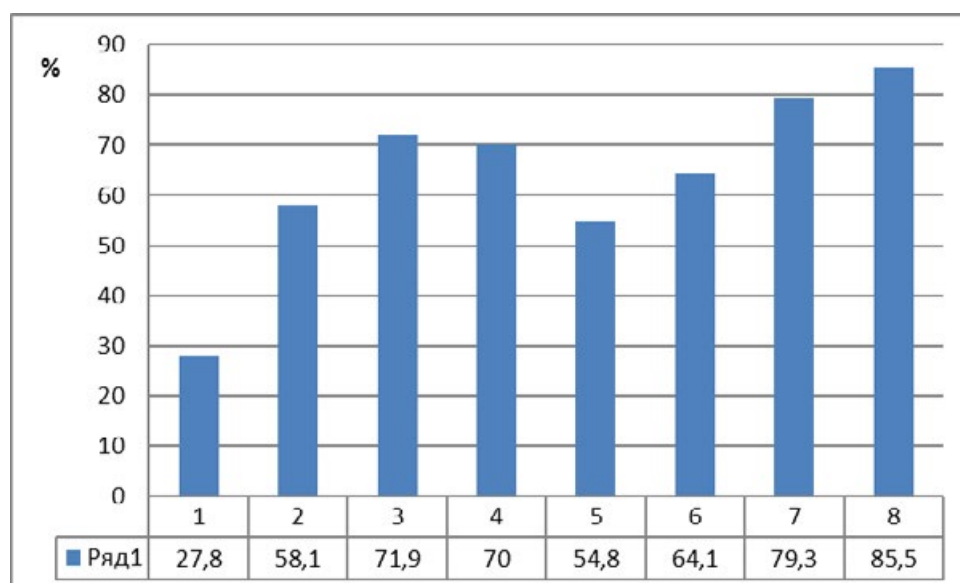


Рис. 1. Окореняемость черенков смородины черной (%) на вариантах опыта: 1 – Т + П (1:1); 2 – Т + П + С 10 т/га; 3 – Т + П + С 15 т/га; 4 – Т + П + С 20 т/га; 5 – Т + П + N30; 6 – Т + П + С 10 т/га + N30; 7 – Т + П + С 15 т/га + N30; 8 – Т + П + С 20 т/га + N30 ($p = 0,023$)

Rooting of blackcurrant cuttings (%) on the following experiments: 1 – P + S (1:1); 2 – P + S + S 10 t/ha; 3 – P + S + S 15 t/ha; 4 – P + S + S 20 t/ha; 5 – P + S + N30; 6 – P + S + S 10 t/ha + N30; 7 – P + S + S 15 t/ha + N30; 8 – P + S + S 20 t/ha + N30 ($p = 0,023$)

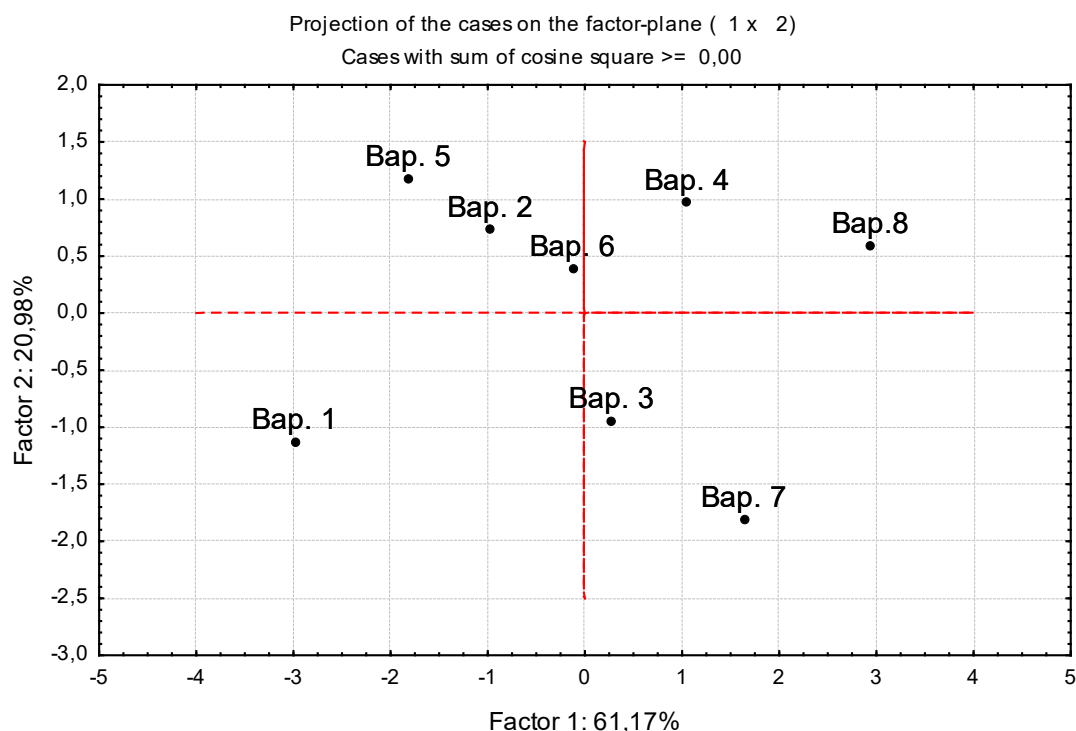


Рис. 2. Распределение вариантов опыта по методу главных компонент с использованием данных физических свойств субстрата для окоренения

Distribution of experimental variants by the principal component method using data on the physical properties of the rooting substrate

Интерпретация результатов по окореняемости черенков и физическому состоянию субстратов, проведенная методом главных компонент, показала, что совокупное распределение око-

реняемости черенков определялась качеством субстрата. Среди трех изученных физических показателей на Factor 1 и Factor 2 приходится 82 % дисперсии. Контрольный субстрат (вариант 1), состоящий из смеси торфа и песка, на плоскости характеризовался изолированным положением. Варианты опыта 2, 5 и 6 с добавлением к субстрату только аммиачной селитры или сапропеля в дозе 10 т/га имели близкую схожесть и находились на одной плоскости. Субстраты, состоящие из смеси компонентов Т + П + С 20 т/га и Т + П + С 20 т/га + N30 (вариант 4 и 8) также отличались сходством физических показателей. Такая же зависимость проявилась и на субстратах с сапропелем в дозе 15 т/га (вариант 3 и 7).

Таким образом, установленная взаимосвязь количественных и качественных показателей окореняемости черенкового материала черной смородины и физических свойств субстрата дает возможность направленного регулирования процессов регенерации на основе сочетания компонентов субстратов и применяемых доз сапропеля и аммиачной селитры.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Плотность упаковки компонентов субстрата в единице его объема, характер первичных минеральных и органических частиц, соотношение пустот и твердой фазы определяют такие физические показатели, как плотность твердой фазы, плотность сложения и общая пористость. Они определяют скорость проникновения воды и воздуха в субстрат, что влияет на доступность элементов питания для окореняемых растений и среду обитания для микроорганизмов [13, 14]. Нашими исследованиями установлено, что существенное снижение плотности твердой фазы при добавлении в субстрат сапропеля обусловлено генетической близостью этого компонента к торфам. Но сапропели отличаются от них тонкой структурой и более низкими значениями плотности твердой фазы их компонентов. По данным [15], средняя плотность макрофитогенного сапропеля оценивалась величиной $0,129 \pm 0,02$ г/см³, торфянистого сапропеля – $0,341 \pm 0,05$ г/см³, торфа – $0,271 \pm 0,04$ г/см³, что обусловлено различ-

ным содержанием органического вещества. Добавление к субстрату сапропеля и аммиачной селитры как дополнительного источника азота для питания растений определяет ускорение корнеообразования и стимулирует активный рост корней у черенков [16]. Резервом увеличения эффективности размножения ягодных культур черенкованием является подбор субстратов с оптимальным соотношением фаз, высокой общей пористостью и пористостью аэрации. Возрастание общей пористости на вариантах опыта с добавлением в субстрат сапропеля, совмещение сапропеля с подкормкой аммиачной селитрой обязано общему увеличению внутренней поверхности высокодисперсного вещества и числа пор. Физическое состояние субстратов оказало существенное влияние на ризогенез зеленых черенков черной смородины. Коэффициент множественной корреляции между величиной окореняемости черенков и физическим состоянием субстратов показал наличие прямой сильной связи между изучаемыми параметрами ($R = 0,85$).

ВЫВОДЫ

1. Физические свойства субстратов при окоренении зеленых черенков смородины черной определяются составом входящих компонентов и дозой сапропеля. Добавление к торфопесчаной смеси сапропеля в дозе 20 т/га, а также дополнительное применение аммиачной селитры в дозе N30 определяет снижение плотности твердой фазы субстрата до $2,57$ г/см³, плотности сложения до $0,66$ – $0,67$ г/см³ и повышение общей пористости до 74 %.

2. Максимальный процент окорененных черенков сформировался на варианте субстрата, состоящего из смеси торфа, песка, сапропеля в дозе 20 т/га и минеральной подкормки в дозе N30 и составил 86 %, что в три раза превышает значения контрольного варианта. Прямая сильная связь между величиной окоренения черенков и физическим состоянием субстратов ($R = 0,85$) в достоверной степени сопряжена с его общей пористостью ($p = 0,043$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев А.А., Гасымов Ф.М., Глаз Н.В. Сортимент черной смородины для Южного Урала // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2020. – Т. 181, № 4. – С. 200–204. – DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-200-204.

2. Бахотская А.Ю., Князев С.Д. Предварительная оценка нового гибридного материала смородины черной на устойчивость к биотическим факторам // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 6. – С. 37–39. – DOI: 10.30850/vrsn/2021/6/37-39.
3. Изучение флавоноидов и антиоксидантной активности побегов и листьев смородины черной / О.В. Яборова, В.Д. Белоногова, И.В. Алексеева, С.А. Соснина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 5 (143). – DOI: 10.60797/IRJ.2024.143.105.
4. Влияние абиотических факторов на массу и химические показатели ягод смородины черной / Е.Г. Акуленко, С.М. Островская, Н.Н. Новикова, Г.Л. Яговенко // Садоводство и виноградарство. – 2024. – № 5. – С. 15–21. – DOI: 10.31676/0235-2591-2024-5-15-21.
5. Перспективы комплексной переработки ягод черной смородины / В.М. Коденцова, Д.В. Рисник, Е.М. Серба [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2024. – Т. 54, № 3. – С. 621–632. – DOI: 10.21603/2074-9414-2024-3-2525.
6. Шпатов Т.В., Штерншиш М.В., Козлова А.С. Биоконтроль грибных болезней черной смородины с использованием микроорганизмов в условиях Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 1 (74). – С. 112–119. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-74-1-112-119.
7. Васильев А.А., Галимов В.Р. Получение саженцев вишни сорта Ашинская с помощью зеленого черенкования // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 7. – С. 4–7. – DOI: 10.28983/asj.y2022i7pp4-7.
8. Васильева Н.А. Оценка способов вегетативного размножения ягодных культур // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2021. – № 4 (65). – С. 14–20. – DOI: 10.34655/bgsha.2021.65.4.002.
9. Сазонов Ф.Ф. Оценка сортов смородины черной селекции ФГБНУ ФНЦ Садоводства по статистическим показателям адаптивности // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 11 (212). – С. 64–70. – DOI: 10.36718/1819-4036-2024-11-64-70.
10. Бопп В.Л. Обзор современных решений повышения ризогенеза зеленых черенков *Ribes nigrum* L. // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 4 (169). – С. 51–59. – DOI: 10.36718/1819-4036-2021-4-51-59.
11. Бопп В.Л. Сапропель как компонент субстрата при зеленом черенковании облепихи крушиновидной // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 12 (201). – С. 136–145. – DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-136-145.
12. Аладина О.Н. Оптимизация технологии зеленого черенкования садовых растений // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 4. – С. 5–22.
13. Kholodov V.A. The capacity of soil particles for spontaneous formation of macroaggregates after a wetting drying cycle // Eurasian Soil Sci. – 2013. – Vol. 46 (6). – P. 660–667.
14. Gehring C.A. Introduction: Mycorrhizas and Soil Structure, Moisture, and Salinity // Chapter 13: Mycorrhizal Mediation of Soil: Fertility, Structure, and Carbon Storage. – 2017. – P. 235–240. – DOI: 10.1016/B978-0-12-804312-7.00013-9.
15. Диагнетическое преобразование органо минеральных сапропелей озера Большие Тороки (Западная Сибирь) / А.Е. Мальцев, Г.А. Леонова, В.А. Бобров [и др.] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 3 (19). – С. 65–76.
16. Роль внекорневых обработок физиологически активными веществами в зеленом черенковании садовых растений / О.Н. Аладина, С.В. Акимова, Н.П. Карсункина, И.В. Скоробогатова // Известия ТСХА. – 2006. – Вып. 3. – С. 46–54.

REFERENCES

1. Vasil'ev A.A., Gasymov F.M., Glaz N.V., *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii*, 2020, T. 181, No. 4, pp. 200–204, DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-200-204.
2. Bahotskaya A.Yu., Knyazev S.D., *Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki*, 2021, No. 6, pp. 37–39, DOI: 10.30850/vrsn/2021/6/37-39.
3. Yaborova O.V., Belonogova V.D., Alekseeva I.V., Sosnina S.A., *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, 2024, No. 5 (143), DOI: 10.60797/IRJ.2024.143.105.
4. Akulenko E.G., Ostrovskaya S.M., Novikova N.N., Yagovenko G.L., *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, 2024, No. 5, pp. 15–21, DOI: 10.31676/0235-2591-2024-5-15-21.
5. Kodencova V.M., Risnik D.V., Serba E.M. [i dr.], *Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv*, 2024, T. 54, No. 3, pp. 621–632, DOI: 10.21603/2074-9414-2024-3-2525.
6. Shpatova T.V., Shternshis M.V., Kozlova A.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2025, No. 1 (74), pp. 112–119, DOI: 10.31677/2072-6724-2025-74-1-112-119.
7. Vasil'ev A.A., Galimov V.R., *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2022, No. 7, pp. 4–7, DOI: 10.28983/asj.y2022i7pp4-7.
8. Vasil'eva N.A., *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii im. V.R. Filippova*, 2021, No. 4 (65), pp. 14–20, DOI: 10.34655/bgsha.2021.65.4.002.

9. Sazonov F.F., *Vestnik KrasGAU*, 2024, No. 11 (212), pp. 64–70, DOI: 10.36718/1819-4036-2024-11-64-70.
10. Bopp V.L., *Vestnik KrasGAU*, 2021, No. 4 (169), pp. 51–59, DOI: 10.36718/1819-4036-2021-4-51-59.
11. Bopp V.L., *Vestnik KrasGAU*, 2023, No. 12 (201), pp. 136–145, DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-136-145.
12. Aladina O.N., *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2013, No. 4, pp. 5–22.
13. Kholodov V.A., The capacity of soil particles for spontaneous formation of macroaggregates after a wetting drying cycle, *Eurasian Soil Sci.*, 2013, Vol. 46 (6), pp. 660–667.
14. Gehring C.A., Introduction: Mycorrhizas and Soil Structure, Moisture, and Salinity, *Chapter 13: Mycorrhizal Mediation of Soil: Fertility, Structure, and Carbon Storage*, 2017, pp. 235–240, DOI: 10.1016/B978-0-12-804312-7.00013-9.
15. Mal'cev A.E., Leonova G.A., Bobrov V.A., Melenevskij V.N., Lazareva E.V., Krivonogov S.K., *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri*, 2014, No. 3 (19), pp. 65–76.
16. Aladina O.N., Akimova S.V., Karsunkina N.P., Skorobogatova I.V., *Izvestiya TSHA*, 2006, Vyp. 3, pp. 46–54.

Информация об авторах:

В.Л. Бопп, кандидат биологических наук

Н.Л. Кураченко, доктор биологических наук

Contribution of the authors:

V.L. Bopp, candidate of biological sciences

N.L. Kurachenko, doctor of biology sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО (*TRIFOLIUM PRATENSE* L.) ПРЕПАРАТОМ КЕЛИК-КАЛИЙ-КРЕМНИЙ НА РАЗНЫХ ФОНАХ ФОСФОРНО-КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

¹А.Ю. Гаврилова, ¹А.М. Конова, ²Н.Е. Самсонова

¹Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

²Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, Смоленск, Россия

E-mail: augavrilova@gmail.com

Для цитирования: Гаврилова А.Ю., Конова А.М., Самсонова Н.Е. Эффективность некорневой подкормки клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) препаратом келик-калий-кремний на разных фонах фосфорно-калийного питания в условиях Центрального Нечерноземья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 24–34. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-24-34.

Ключевые слова: клевер луговой, фосфорно-калийные удобрения, келик K-Si, некорневая подкормка.

Реферат. Для определения оптимальных доз фосфорно-калийных удобрений при выращивании клевера лугового (сорт Починковец) в 2022–2024 гг. было проведено полевое исследование на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Смоленской области (рН 5,4) с низким содержанием гумуса (2,0 %), повышенным – фосфора (142–148 м/кг) и средним – калия (98–105 мг/кг). Изучали влияние разных сочетаний фосфорно-калийных удобрений и некорневой подкормки растений препаратом келик K-Si на урожайность, содержание в сене сырого протеина, фосфора и калия. Максимальная урожайность от удобрений достигнута при дозе $P_{48}K_{48}$ в 2022 г. (ГТК 1,55) и в 2024 г. (ГТК 1,80) – 20,0 и 12,5 т/га сена соответственно. В засушливом 2023 г. наилучшие показатели (8,3 т/га) наблюдались в варианте $P_{80}K_{32}$. Некорневая подкормка клевера 1%-м раствором препарата позволила существенно повысить урожайность с лучшим эффектом на фоне $P_{48}K_{48}$. Максимальное содержание сырого протеина (13,0–13,9 %) отмечено в вариантах с повышенной дозой фосфора и его сочетанием с калием ($P_{48}K_{48}$ и $P_{80}K_{32}$). Содержание фосфора и калия в сене соответствовало зоотехническим нормам и оставалось стабильным благодаря генетически закрепленным механизмам регуляции химического состава растений. В среднем 1 т сена клевера Починковец содержит 12,7–12,9 ц сырого протеина, 4,8–5,3 кг P_2O_5 и 14,6–14,9 кг K_2O . Эти величины можно принять за нормативы выноса для клевера лугового при разработке сортовой агротехники на дерново-подзолистых почвах Смоленской области и для оценки кормовых достоинств сена. По совокупности показателей агрономической и экономической эффективности лучшими следует признать варианты $P_{48}K_{48}$ и « $P_{48}K_{48}$ + некорневая подкормка». Некорневые подкормки препаратом келик K-Si позволяют добиться заметного эффекта, минимизировать экологические риски и могут быть легко интегрированы в существующую систему агротехнических мероприятий.

THE EFFECTIVENESS OF FOLIAR TOP DRESSING OF MEADOW CLOVER (*TRIFOLIUM PRATENSE* L.) WITH THE PREPARATION KELIK-POTASSIUM-SILICON ON DIFFERENT BACKGROUNDS OF PHOSPHORUS-POTASSIUM NUTRITION IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL NON-CHERNOZEM REGION

¹A.Yu. Gavrilova, ¹A.M. Konova, ²N.E. Samsonova

¹Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

²Smolenskaya State Agricultural Academy, Smolensk, Russia

E-mail: augavrilova@gmail.com

Keywords: meadow clover; phosphorous-potash fertilizers; kelik-K-Si; foliar top dressing.

Abstract. To determine the optimal doses of phosphorus-potassium fertilizers for growing meadow clover (Pochinkovets variety) in 2022–2024, a field study was conducted on sod-podzolic medium loamy soil of the Smolensk region (pH 5.4) with a low humus content (2.0 %), increased phosphorus (142–148 m/kg) and medium potassium (98–105 mg/kg). The effect of various combinations of phosphorus-potassium fertilizers and foliar top dressing of plants with kelik-K-Si on yield, the content of crude protein, phosphorus and potassium in hay was

studied. The maximum yield was achieved at a dose of R48K48 in 2022 (GTK 1.55) and in 2024 (GTK 1.80) – 20.0 and 12.5 t/ha of hay, respectively. In the dry year of 2023, the best indicators (8.3 t/ha) were observed in the R80K32 variant. Foliar top dressing of clover with a 1% solution of the drug significantly increased the yield. The maximum crude protein content (13.0–14.0 %) was observed in variants with an increased dose of phosphorus and its combination with potassium (P48, P48K48 and P80K32). The phosphorus and potassium content in hay corresponded to zootechnical standards and remained stable due to genetically fixed mechanisms of regulation of the chemical composition of plants. On average, 1 ton of clover hay contains Pochinkovets: 12.7–12.9 c of crude protein, 4.8–5.3 kg of P₂O₅ and 14.6–14.9 kg of K₂O. These values can be taken as removal standards for meadow clover in the development of varietal agricultural machinery on sod-podzolic soils of the Smolensk region and to assess the fodder advantages of hay. According to the totality of agronomic and economic efficiency indicators, the best options are R48K48 and R48K48+ foliar top dressing with kelik-K-Si. Non-root top dressing can achieve a noticeable effect, minimize environmental risks and can be easily integrated into the existing system of agrotechnical measures.

Клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) является многолетней кормовой культурой, способной обеспечивать сельскохозяйственных животных высококачественными кормами и повышать экономическую рентабельность использования пахотных угодий. Уникальная способность к симбиотической фиксации атмосферного азота делает его незаменимым компонентом севооборотов, способствуя улучшению плодородия почв и снижению зависимости от азотных удобрений [1].

Корневая система клевера способна накапливать в почве до 100–150 кг/га азота и преобразовывать труднорастворимые соединения фосфора в доступные формы, что особенно важно в условиях ограниченных ресурсов. Однако избыток азотных удобрений может негативно сказаться на зимостойкости клевера и угнетать развитие клубеньковых бактерий. Исследования показывают, что на дерново-подзолистых почвах внесение фосфорно-калийных удобрений повышает содержание обменной энергии в сухом веществе корма, существенно улучшая его питательную ценность [2, 3]. Поэтому эффективность возделывания клевера напрямую зависит от грамотного применения удобрений, особенно в условиях меняющегося климата. Так, в первой четверти XXI в. в России частота засух значительно возросла: за период с 2000 по 2024 г. отмечено одиннадцать засушливых лет, тогда как с 1975 по 2000 г. их было всего шесть.

Минеральные удобрения играют ключевую роль в повышении устойчивости растений к неблагоприятным условиям. Калий повышает устойчивость растений к полеганию, поражению болезнями и вредителями, а также защищает их от перепадов температур и дефицита влаги. Фосфор способствует экономному расходованию воды, участвует в фотосинтезе, дыхании и энергетическом обмене, повышает устойчивость растений к засухе и низким температурам. Микроэлементы,

такие как медь, марганец, кобальт и молибден, также оказывают положительное влияние. В то же время высокие дозы азота могут действовать противоположно.

Особое внимание в последнее время уделяется роли кремния в питании растений. Его содержание в кормовых культурах разное: в злаках около 1,7 %, а в двудольных примерно 0,9 %. Поскольку животные усваивают кремний из корма очень слабо, его количество можно использовать как показатель переваримости растительной пищи [4].

Кремний действует на растения многосторонне: активизирует фотосинтез, регулирует водный баланс [5, 6], усиливает биосинтез вторичных метаболитов, осуществляющих самозащиту растений [7–9], повышает урожайность и его качество [10–13], а также укрепляет клеточные стенки [14, 15], создавая механический барьер для патогенов и насекомых и предотвращая полегание растений. Установлено, что в растениях происходит активное его перераспределение с переносом в ткани, которые в большей степени подвержены стрессу [16, 17].

Использование кремниевых соединений в земледелии может существенно смягчить негативные последствия ставшего реальностью глобального потепления климата.

Кремний может поступать в растения как через корень, так и через лист при проведении некорневых подкормок, которые имеют ряд преимуществ перед корневым поступлением: быстрое усвоение через листовые ткани и включение в метаболизм растений, точечное воздействие, эффективность в случае плохой корневой доступности (например, если низкий pH и высокое содержание в почве железа и алюминия).

Хотя эффективность foliarного питания растений кремния подтверждена для многих культур,

данных о его использовании для клевера лугового недостаточно.

Таким образом, несмотря на значительный объем исследований, вопросы оптимизации доз фосфорно-калийных удобрений и изучения кремниевого питания клевера по-прежнему остаются актуальными.

Цель настоящей работы заключается в установлении оптимальных параметров фосфорно-калийного и кремниевого питания клевера лугового в конкретных почвенно-климатических условиях региона для повышения его продуктивности и минимизации экологических рисков.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2022–2024 гг. в многофакторном полевом опыте ФГБНУ ФНЦ ЛК, включенном в реестр Географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами (Аттестат длительного опыта № 171), в п. Стодолище Починковского района Смоленской области Российской Федерации в трех полях на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с низким содержанием гумуса (2,0 %), слабокислой реакцией среды ($\text{pH}_{\text{КСИ}}$ 5,4), повышенным содержанием подвижного фосфора по Кирсанову (142–148 мг/кг), средним содержанием калия (98–105 мг/кг). Глубина пахотного слоя 23–25 см.

Опыт заложен в 3-кратной повторности, размещение делянок – рендомизированное с использованием метода расщепления, площадь элементарной опытной делянки – 20 м².

Опытной культурой был районированный раннеспелый, двуукосный, зимостойкий, высокопродуктивный сорт клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) Починковец, внесенный в Государственный реестр селекционных достижений для Центрального (3) региона в 2018 г. Средняя урожайность сорта – 7,9 т/га, растения обладают высокой устойчивостью к корневым гнилям и толерантностью к склеротиниозу. Сухое вещество содержит 16,5 % белка и 27,2 % клетчатки. Сбор белка составляет 19,2 ц/га.

В исследовании использована комплексная схема для изучения влияния разных доз и сочетаний фосфорно-калийных удобрений с некорневой подкормкой соединением кремния на продуктивность и качество клевера лугового. Схема удобрений включала восемь вариантов: контроль без удобрений, P_{48} , K_{48} , $\text{P}_{48}\text{K}_{48}$, $\text{P}_{16}\text{K}_{16}$, $\text{P}_{32}\text{K}_{32}$, $\text{P}_{80}\text{K}_{32}$, $\text{P}_{32}\text{K}_{80}$. Фосфорные (Рсд) и калийные (Кх) удобрения

были внесены под посев покровной культуры – овса. Посев клевера проведен в следующие сроки: 12 мая 2021 г. (первое поле), 23 мая 2022 г. (второе поле), 8 мая 2023 г. (третье поле). Норма высева семян составила 8 кг/га. Весной второго года жизни клевера растения были подкормлены аммиачной селитрой (N_{20}).

В фазу бутонизации клевера была проведена некорневая подкормка растений растворами кремнийсодержащего препарата келик-калий-кремния (келик K-Si), который содержит 15 % калия, 10 % кремния, хелатирующий агент EDTA (2 %). Препарат проявляет иммунопротекторные свойства, рекомендован для некорневой подкормки зерновых, пропашных, технических культур (1%-й раствор – 1–2 дм³ препарата на 1 га), плодово-ягодных и овощных культур (0,5–1 % раствор). На клевере луговом препарат не испытан.

Процедуру выполняли утром для обеспечения оптимального поглощения веществ растениями. Использовано два варианта концентраций раствора: 0,5 и 1,0 % (расхода препарата – 1 и 2 дм³/га).

Таким образом, схема позволяла оценить влияние как традиционных фосфорно-калийных удобрений, так и их сочетания с кремниевым удобрением на рост и продуктивность клевера лугового в конкретных почвенно-климатических условиях, что составляет научную новизну исследования.

Ежегодно проводили два укоса биомассы: в 2022 г. – 6 июля и 5 сентября, в 2023 г. – 16 июня и 28 августа, в 2024 г. – 26 июня и 30 августа.

Исследования выполнены в соответствии с методикой Госсорткомиссии (1989). Содержание протеина в сене определяли с помощью ИК-анализатора NIRSystems 4500, фосфора – по ГОСТ 26657–97, калия – по ГОСТ 30504–97. Статистическую обработку данных проводили с использованием программы MS Excel по Б.А. Доспехову. Коэффициент отзывчивости $K_{\text{отз}}$ рассчитывался как отношение урожайности соответствующих вариантов к контролю.

Метеорологические условия в разные годы исследования существенно различались.

Вегетационный период 2022 г. отличался прохладной и влажной погодой, что благоприятно сказалось на развитии клевера. Гидротермический коэффициент (ГТК) за май–август составил 1,55, что указывает на избыточное увлажнение. Однако резкое уменьшение осадков и повышение температуры воздуха в августе привели к стрессу у растений перед вторым укосом.

В 2023 г. май и июнь отмечены повышенными температурами и дефицитом осадков (в 2,5 раза ниже нормы), что привело к острому недостатку влаги перед первым укосом лугового клевера. В целом за вегетационный период (май–август) сумма активных температур соответствовала климатической норме, однако количество осадков сократилось в 1,6 раза. ГТК составил 1,03, указывая на приближение к засушливым условиям. Это отрицательно сказалось на накоплении биомассы клевера, который испытал стресс из-за нехватки влаги.

В 2024 г. погодные условия в мае–августе, хотя и были благоприятнее, чем в 2023 г., но распределение осадков было неравномерным: 49 % выпало в июне (71 % – в июне-июле), тогда как норма предполагает 25 и 52 % соответственно.

Повышение средней температуры воздуха на 2 °С стимулировало рост суммы активных температур, которая увеличилась на 10 % относительно многолетних значений. ГТК достиг 1,8, что указывает на избыточное увлажнение. Резкие колебания влаги создали непредсказуемый микроклимат, усложнивший развитие лугового клевера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Агрометеорологические условия оказали существенное влияние на урожайность клевера лугового (табл. 1). Наиболее высокая продуктивность была зафиксирована в 2022 г.: суммарная урожайность превысила показатели 2023 г. в 1,8–2,8 раза и 2024 г. – в 1,3–1,7 раза. В засушливом 2023 г. урожайность была минимальной.

Таблица 1

Урожайность сена клевера, т/га
Clover hay yield, t/ha

Вариант	Без подкормки			С подкормкой келик K-Si			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Раствор, %	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	10,1	5,5	7,5	1,0	10,3	4,9	8,4
				0,5	9,6	4,4	7,9
P ₄₈	15,7	5,9	9,3	1,0	17,4	6,0	10,8
				0,5	15,7	5,0	9,0
K ₄₈	15,5	5,5	8,8	1,0	16,7	4,6	9,5
				0,5	13,9	4,9	8,5
P ₄₈ K ₄₈	20,0	8,3	12,5	1,0	20,6	9,1	13,4
				0,5	18,3	7,3	12,8
P ₁₆ K ₁₆	12,3	5,4	8,1	1,0	13,8	5,8	8,1
				0,5	11,8	5,0	8,6
P ₃₂ K ₃₂	14,9	5,9	8,7	1,0	16,5	7,1	9,1
				0,5	14,1	5,8	8,0
P ₈₀ K ₃₂	15,5	7,0	9,5	1,0	16,6	10,5	10,5
				0,5	14,7	9,1	9,1
P ₃₂ K ₈₀	14,8	7,7	9,5	1,0	16,7	7,9	10,7
				0,5	14,0	6,9	8,5
НСР _{0,5} 2022 г.: фактор А (удобрения) 0,60; фактор В (подкормка) 0,30. 2023 г.: фактор А (удобрения) 0,32; фактор В (подкормка) 0,16. 2024 г.: фактор А (удобрения) 0,49; фактор В (подкормка) 0,24.							

В 2022 и 2024 гг. применение минеральных удобрений обеспечило статистически достоверный прирост урожайности по сравнению с контрольным вариантом. Наибольший эффект отмечен в варианте P₄₈K₄₈: в 2022 г. урожайность удвоилась, а в 2024 г. – увеличилась на 70 %. Доля

участия удобрений в создании урожая составила в 2022 г. 49,5 %, а в 2024 г. – 40 %. В засушливом 2023 г. значимые приросты были достигнуты только при повышенных дозах удобрений (P₄₈K₄₈, P₈₀K₃₂ и P₃₂K₈₀). Доля участия удобрений в этот год равнялась 33,7 21,4 и 28,6 % соответствен-

но. Этот показатель помогает оценить реальный вклад удобрений в разных условиях, что важно для планирования затрат.

Эффективность некорневой подкормки растений зависела от минерального фона, дозы препарата и погодных условий. В благоприятные годы (2022 и 2024 гг.) максимальный эффект был достигнут при использовании 1%-го раствора келик K-Si. В засушливом 2023 г. положительный результат был получен только при сочетании подкормки с фосфорно-калийными удобрениями ($P_{48}K_{48}$, $P_{32}K_{32}$, $P_{16}K_{16}$, $P_{32}K_{80}$ и $P_{80}K_{32}$), преимущественно при использовании 1%-го раствора.

Насколько эффективны удобрения и сочетание их с подкормкой для повышения урожайности можно судить по коэффициенту отзывчивости $K_{отз}$ (табл. 2). Наибольшая отзывчивость на удобрения наблюдалась в 2022 г., когда погода способствовала росту клевера ($K_{отз} = 1,22-1,98$). В засушливом 2023 г. коэффициент был существенно ниже (0,98–1,51) с максимумом в варианте $P_{48}K_{48}$. В среднем за три года наибольший $K_{отз}$ был в варианте $P_{48}K_{48}$ (1,72). Некорневая подкормка дополнительно повысила урожайность на этом фоне и $K_{отз}$ составил 1,83.

Таблица 2

Коэффициент отзывчивости клевера лугового на минеральные удобрения и некорневую подкормку препаратом келик K-Si

The coefficient of response of red clover to mineral fertilizers and foliar feeding with the preparation Kelik K-Si

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее за 2022–2024 гг.
Удобрения				
P_{48}	1,55	1,07	1,24	1,29
K_{48}	1,53	1,00	1,17	1,23
$P_{48}K_{48}$	1,98	1,51	1,67	1,72
$P_{16}K_{16}$	1,22	0,98	1,08	1,09
$P_{32}K_{32}$	1,48	1,07	1,16	1,24
$P_{80}K_{32}$	1,53	1,27	1,27	1,36
$P_{32}K_{80}$	1,43	1,40	1,27	1,37
Удобрения + подкормка (1%-й раствор)				
Контроль	1,02	0,89	1,12	1,01
P_{48}	1,72	1,09	1,44	1,42
K_{48}	1,65	0,84	1,27	1,59
$P_{48}K_{48}$	2,04	1,65	1,79	1,83
$P_{16}K_{16}$	1,36	1,05	1,08	1,16
$P_{32}K_{32}$	1,63	1,29	1,21	1,38
$P_{80}K_{32}$	1,64	1,91	1,40	1,65
$P_{32}K_{80}$	1,65	1,44	1,43	1,51

Таким образом, урожайность лугового клевера тесно связана с погодными условиями, особенно с уровнем влагообеспеченности. Засуха негативно влияла на продуктивность. В течение всего наблюдения максимальная урожайность достигнута при сбалансированном соотношении фосфора и калия ($P_{48}K_{48}$). Некорневая подкормка препаратом келик K-Si оказала положительное влияние на формирование биомассы. Лучшие результаты получены при использовании 1%-го раствора препарата. На контроле подкормка оказалась неэффективной.

Содержание сырого протеина в сене клевера лугового зависело от уровня фосфорно-калийного питания. В контрольном варианте оно колебалось в пределах 11,5–12,0 % независимо от погодных условий (табл. 3). Во все годы максимальное его содержание (13,0–13,9 %) отмечено в вариантах с повышенной дозой фосфора и его сочетанием с калием (P_{48} , $P_{48}K_{48}$ и $P_{80}K_{32}$). Это подчеркивает важность баланса этих элементов, принимающих участие в биосинтезе белков [18–20]. Содержание сырого протеина практически не зависело от некорневой подкормки растений и агрометеоро-

логических условий (например, засухи 2023 г. или избытка влаги в 2024 г.). Однако вариант $P_{32}K_{80}$

рискован в засушливые годы из-за дисбаланса калия.

Таблица 3

Содержание сырого протеина, фосфора и калия в сене клевера лугового, %
Content of crude protein, phosphorus and potassium in red clover hay, %

Вариант	2022 г.			2023 г.			2024 г.		
	Сырой протеин	P_2O_5	K_2O	Сырой протеин	P_2O_5	K_2O	Сырой протеин	P_2O_5	K_2O
<i>Удобрения</i>									
Контроль	11,7	0,50	1,30	11,5	0,48	1,22	12,0	0,46	1,34
P_{48}	13,9	0,47	1,53	13,7	0,46	1,39	13,0	0,49	1,59
K_{48}	12,8	0,48	1,45	12,4	0,45	1,36	13,0	0,47	1,50
$P_{48}K_{48}$	13,3	0,49	1,40	13,7	0,50	1,45	14,0	0,49	1,48
$P_{16}K_{16}$	13,0	0,48	1,41	12,5	0,48	1,42	12,4	0,46	1,49
$P_{32}K_{32}$	12,9	0,49	1,42	12,6	0,50	1,34	13,0	0,47	1,50
$P_{80}K_{32}$	13,4	0,48	1,50	13,1	0,46	1,45	13,4	0,47	1,53
$P_{32}K_{80}$	10,4	0,50	1,37	10,1	0,49	1,32	11,8	0,51	1,58
<i>Удобрения + подкормка (1%-й раствор)</i>									
Контроль	11,8	0,51	1,32	11,7	0,49	1,24	12,2	0,49	1,36
P_{48}	14,0	0,49	1,56	13,8	0,49	1,44	13,2	0,52	1,62
K_{48}	12,8	0,54	1,49	12,6	0,50	1,40	13,2	0,53	1,54
$P_{48}K_{48}$	13,8	0,56	1,47	13,8	0,56	1,50	14,2	0,54	1,56
$P_{16}K_{16}$	13,0	0,52	1,45	12,6	0,49	1,44	12,5	0,49	1,52
$P_{32}K_{32}$	13,0	0,54	1,47	12,7	0,54	1,38	13,1	0,51	1,52
$P_{80}K_{32}$	13,5	0,56	1,57	13,3	0,50	1,50	13,6	0,53	1,56
$P_{32}K_{80}$	10,6	0,55	1,42	10,5	0,55	1,36	12,0	0,55	1,64
<i>Удобрения + подкормка (0,5%-й раствор)</i>									
Контроль	11,7	0,50	1,31	11,5	0,48	1,23	12,0	0,47	1,35
P_{48}	13,9	0,47	1,54	13,7	0,47	1,40	13,1	0,50	1,58
K_{48}	12,7	0,50	1,46	12,5	0,46	1,37	13,0	0,50	1,51
$P_{48}K_{48}$	13,3	0,50	1,41	13,7	0,52	1,47	14,0	0,50	1,50
$P_{16}K_{16}$	12,9	0,48	1,42	12,5	0,49	1,43	12,5	0,47	1,50
$P_{32}K_{32}$	12,9	0,50	1,43	12,6	0,51	1,35	13,0	0,49	1,51
$P_{80}K_{32}$	13,4	0,50	1,52	13,1	0,48	1,47	13,5	0,50	1,51
$P_{32}K_{80}$	10,4	0,51	1,38	10,2	0,50	1,33	11,8	0,51	1,59

Кроме сырого протеина важным показателем качества корма является содержание в сене фосфора и калия. Согласно зоотехническим требованиям в сухой массе корма содержание фосфора должно составлять не менее 0,45 %, а калия – не более 3,5 %. Несмотря на изменчивость погоды и уровень удобрений, содержание фосфора и калия в сене клевера оставалось стабильным благодаря генетически закрепленным механизмам регуляции химического состава растений. Так, содержание

P_2O_5 колебалось от 0,46 до 0,50 % в контрольном варианте и до 0,49–0,51 % в вариантах с удобрением, что соответствовало зоотехническим требованиям.

Использование подкормки 1%-м раствором препарата повысило содержание P_2O_5 в сухой массе клевера до 0,49–0,56 % или по сравнению с соответствующими вариантами без подкормки: в 2022 г. – на 4,0–16,7 отн.%, в 2023 г. – на 1,0–12,2, а в 2024 г. – на 6,5–12,8 отн.%, что следует

признать существенным, но не превышающим максимально допустимый уровень (0,6–0,8 %). Подкормка растений 0,5%-м раствором келик К-Si не изменила содержание фосфора.

Концентрация калия в клевере практически не зависела от подкормки и соответствовала зоотехническим требованиям.

Повышение содержания P_2O_5 в растениях под действием подкормки может быть объяснено усилением активности корневой системы в присутствии кремния, улучшением транспорта элементов благодаря укреплению сосудистой системы и улучшению водного обмена. Генотип растения определяет базовый уровень содер-

жания элементов питания и их соотношение. Подкормка, не меняя генетическую программу растения, оптимизирует условия реализации его потенциала, что подтверждает целесообразность ее использования для повышения качества кормов и продуктивности культуры.

Сбор сырого протеина и вынос питательных элементов урожаем определялся главным образом величиной урожая, поэтому максимальные значения этих показателей во все годы отмечены в варианте $P_{48}K_{48}$ (табл. 4), как с подкормкой, так и без нее, причем в вариантах с подкормкой эти величины оказались выше пропорционально повышению урожайности.

Таблица 4

Сбор протеина, ц/га, и вынос фосфора и калия урожаем клевера, кг/га
Protein yield, c/ha, and removal of phosphorus and potassium by clover crop, kg/ha

Вариант	2022 г.			2023 г.			2024 г.		
	Сырой протеин	P_2O_5	K_2O	Сырой протеин	P_2O_5	K_2O	Сырой протеин	P_2O_5	K_2O
<i>Удобрения</i>									
Контроль	10,0	42,9	129	5,3	22,4	57	7,6	29,3	85
P_{48}	18,5	62,7	204	6,8	17,9	69	12,1	38,6	125
K_{48}	16,8	63,2	190	5,8	21,0	63	10,2	35,1	112
$P_{48}K_{48}$	22,3	83,3	238	9,6	35,2	102	14,8	53,2	157
$P_{16}K_{16}$	13,4	50,1	147	5,7	22,0	80	8,5	31,7	104
$P_{32}K_{32}$	16,4	62,0	179	6,3	25,0	67	9,6	34,7	110
$P_{80}K_{32}$	17,6	63,2	197	7,8	27,4	113	10,9	37,9	123
$P_{32}K_{80}$	13,0	62,9	171	6,6	32,0	85	9,5	41,1	127
<i>Удобрения + подкормка (1%-й раствор)</i>									
Контроль	12,2	52,5	136	5,7	24,0	61	9,6	41,2	114
P_{48}	24,4	85,3	271	8,3	29,4	86	14,3	56,2	175
K_{48}	21,4	90,2	249	5,8	23,0	64	12,5	50,4	146
$P_{48}K_{48}$	28,4	115,4	303	12,6	51,0	137	19,0	72,9	209
$P_{16}K_{16}$	17,9	71,8	200	7,3	28,4	84	10,1	39,7	123
$P_{32}K_{32}$	21,5	89,1	243	9,0	38,3	98	11,9	46,4	138
$P_{80}K_{32}$	22,4	93,0	281	14,0	52,5	158	14,3	55,7	156
$P_{32}K_{80}$	17,7	91,9	237	8,3	43,5	107	12,8	58,9	175

В среднем 1 т сена клевера Починковец содержала 12,7–12,9 ц сырого протеина; 4,8–5,3 кг P_2O_5 и 14,6–14,9 кг K_2O . Эти величины можно принять за нормативы выноса для клевера лугового при разработке сортовой агротехники на дерново-подзолистых почвах Смоленской области и для оценки кормовых достоинств сена.

Расчет экономической эффективности удобрений и некорневой подкормки растений проведен на основе сравнения дополнительных затрат

(приобретение, доставка, хранение, внесение удобрений, уборка, доработка и реализация дополнительного урожая) со стоимостью прибавки урожая.

Так как фосфорно-калийные удобрения были внесены под покровную культуру, в расчетах была использована та часть затрат, которая соответствует остаточному эффекту: для фосфорных удобрений – 10 % от их стоимости, калийных – 20 %. Затраты на внесение удобрений также были скор-

ректированы: они составили половину от полных затрат (полные затраты на внесение составляют примерно 30 % от стоимости удобрений).

Затраты на уборку дополнительного урожая приняты 1000 руб./га, на доработку, транспортировку и хранение клеверного сена – 1400 руб./т. Средняя стоимость 1 т сена – 3500 рублей. Цены на минеральные удобрения: двойной суперфосфат – 38000 руб./т, хлористый калий – 25000 руб./т, келик-K-Si – 2000 руб./л. Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Наибольшая экономическая эффективность достигнута в варианте $P_{48}K_{48}$: чистый

доход составил 8,44 тыс. руб./га, окупаемость дополнительных затрат стоимостью прибавки урожая – 1,69 руб./руб. Вариант $P_{16}K_{16}$ оказался убыточным ввиду низкой прибавки урожая. Некорневая подкормка растений сопровождалась ростом дополнительных затрат, которые в ряде случаев не покрывались стоимостью прибавки урожая (варианты K_{48} , $P_{16}K_{16}$ и $P_{32}K_{32}$). Наиболее экономически оправданной она оказалась при выращивании растений на фоне $P_{48}K_{48}$: чистый доход достиг 6,09 тыс. руб./га, окупаемость суммарных дополнительных затрат стоимостью прибавки урожая составила 1,32 руб./руб.

Таблица 5

Экономическая эффективность минеральных удобрений и некорневой подкормки при выращивании клевера лугового

Economic efficiency of mineral fertilizers and foliar feeding in the cultivation of red clover

Вариант	Прибавка урожая к контролю*, т/га	Стоимость дополнительных затрат, тыс. руб./га	Стоимость прибавки урожая, тыс. руб./га	Чистый доход, тыс. руб./га	Окупаемость дополнительных затрат стоимостью прибавки урожая, руб./руб.
<i>Без подкормки</i>					
P_{48}	2,6	7,26	9,1	1,84	1,25
K_{48}	2,2	5,34	7,7	2,36	1,44
$P_{48}K_{48}$	5,9	12,16	20,6	8,44	1,69
$P_{16}K_{16}$	0,9	3,69	3,1	-0,59	–
$P_{32}K_{32}$	2,1	6,39	7,3	0,91	1,14
$P_{80}K_{32}$	3,0	9,99	10,5	0,51	1,05
$P_{32}K_{80}$	3,0	8,63	10,5	1,87	1,22
<i>С подкормкой (1%-й раствор келик-K-Si)</i>					
P_{48}	3,7	12,46	12,95	0,49	1,04
K_{48}	2,6	10,54	9,10	–	–
$P_{48}K_{48}$	6,7	17,36	23,45	6,09	1,32
$P_{16}K_{16}$	1,5	8,89	5,25	–	–
$P_{32}K_{32}$	3,0	11,58	10,50	–	–
$P_{80}K_{32}$	4,8	15,19	16,80	1,61	1,05
$P_{32}K_{80}$	4,1	13,82	14,35	0,48	1,04

* – среднее за три года.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В силу способности клевера лугового обеспечивать себя азотом за счет работы клубеньковых бактерий основой организации минерального питания является использование фосфорно-калийных минеральных удобрений, которые обеспечивают не только питание растений фосфором

и калием, но и оптимизируют азотфиксирующую способность растений. По данным ряда авторов, это обеспечивает получение качественного корма с высоким содержанием обменной энергии [2, 3].

Установлено, что наряду с оптимизацией фосфорно-калийного питания растений существенно смягчить негативные последствия ставшего реальностью глобального потепления климата

может использование соединений кремния [6, 9, 14, 15, 17], которые могут быть доставлены в растения как через корень, так и через лист. Последний прием подтвержден на многих сельскохозяйственных культурах, но данных в отношении клевера лугового недостаточно.

Исследование фосфорно-калийного питания клевера лугового в условиях дерново-подзолистых почв Смоленской области подтвердило ключевую роль его оптимизации в повышении продуктивности культуры и качества урожая в разные по погодным условиям годы. Максимальный агрономический эффект получен в годы с избыточным увлажнением при использовании дозы $P_{48}K_{48}$ (урожайность 12,5–20,0 т/га) с получением качественного сена, соответствующего зоотехническим нормам по содержанию фосфора и калия. Несмотря на колебания урожайности, в среднем за три года она была экономически наиболее эффективной.

Некорневая подкормка растений 1%-м раствором препарата келик-K-Si привела к дополнительному росту урожайности на всех фонах минерального питания. Несмотря на рост затрат, связанных с ее проведением, в ряде случаев она была экономически оправдана.

Полученные данные оптимизации фосфорно-калийного и кремниевого питания клевера лугового могут быть использованы для повышения продуктивности культуры и минимизации экологических рисков. Некорневые подкормки

могут быть легко интегрированы в существующую систему агротехнических мероприятий.

ВЫВОДЫ

1. Максимальная урожайность сена (12,5–20,0 т/га) в годы с избыточным увлажнением достигнута при внесении фосфорно-калийных удобрений в дозе $P_{48}K_{48}$, что в 1,7–2,0 раза превысило контрольные показатели. В засушливых условиях (2023 г.) эффективность их была ниже, однако дозы $P_{80}K_{32}$ и $P_{32}K_{80}$ обеспечивали прибавку урожая к контролю на 27–40 %.

2. Содержание фосфора и калия в сене соответствовало зоотехническим требованиям. В среднем 1 т сена клевера Починковец содержала: 12,7–12,9 ц сырого протеина, 4,8–5,3 кг P_2O_5 и 14,6–14,9 кг K_2O . Эти величины можно принять за нормативы выноса при разработке сортовой агротехники на дерново-подзолистых почвах Смоленской области и для оценки кормовых достоинств сена.

3. Некорневая подкормка растений препаратом келик K-Si оправдала себя только в 1%-й концентрации. По совокупности показателей агрономической и экономической эффективности лучшими следует признать варианты $P_{48}K_{48}$ и $P_{48}K_{48}^+$ некорневая подкормка.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (тема № FGSS-2024-0004).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаврилова А.Ю., Конова А.М. Урожайность многолетних трав и плодородие дерново-подзолистой почвы при длительном внесении минеральных удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2 (54). – С. 71–77. – DOI: 10.18286/1816-4501-2021-2-71-77.
2. Налухин А.С., Смирнова А.А. Влияние различных систем удобрения и известкования на урожайность и химический состав клевера лугового // Плодородие. – 2024. – № 4 (139). – С. 23–26. – DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.05.
3. Влияние возрастающих доз азота на кормовую продуктивность многолетних трав / С.В. Иванова, О.В. Курдакова, А.М. Конова, А.Ю. Гаврилова // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 12. – С. 19–24. – DOI: 10.28983/asj.y2019i12pp19-24.
4. Абатуров Б.Д., Колесников М.П. Органический кремний в растениях как лимитирующий фактор переваримости кормов растительноядных млекопитающих // Успехи современной биологии. – 2023. – Т. 143, № 5. – С. 466–475. – DOI: 10.31857/S0042132423050034.
5. Новикова Н.Е., Самсонова Н.Е. Влияние кремнийсодержащих соединений на показатели водного гомеостаза и урожайность гороха // Цифровые технологии – основа современного развития АПК: мат-лы междунар. науч. конф. – Смоленск, 2020. – Т. 1. – С. 77–82.
6. Самсонова Н.Е. Кремний и устойчивость растений яровой пшеницы и кукурузы к водному стрессу на ранних этапах онтогенеза // Агрохимикаты в XXI веке: теория и практика применения: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. – Н. Новгород, 2017. – С. 122–124.
7. Новикова Н.Е., Самсонова Н.Е. Влияние соединений кремния на процесс прорастания семян гороха и защиту проростков от окислительных повреждений // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 2 (83). – С. 21–28.

8. Устойчивость ярового ячменя к абиотическому стрессу в зависимости от уровня минерального питания и предобработки семян селеном и кремнием / Л.В. Осипова, И.В. Верниченко, Л.В. Ромодина [и др.] // *Агрохимия*. – 2019. – № 7. – С. 64–74. – DOI: 10.1134/S000218811907010X.
9. Шупинская И.А., Самсонова Н.Е. Влияние некорневой подкормки и высококремнистого цеолита на урожайность яровой пшеницы и компоненты антиоксидантной защиты // *Фундаментальные основы современных аграрных технологий и техники*: тр. Всерос. молодежной науч.-практ. конф. – Томск, 2015. – С. 174–177.
10. Гаврилова А.Ю., Конова А.М., Самсонова Н.Е. Эффективность минеральных удобрений и кремнийсодержащего препарата контролфит-си на льне-долгунце // *Достижения науки и техники АПК*. – 2023. – Т. 37, № 2. – С. 34–39. – DOI: 10.53859/02352451_2023_37_2_34.
11. Куликова А.Х., Карпов А.В., Черкасов М.С. Влияние цеолита и удобрений на его основе на урожайность кукурузы и баланс элементов питания в черноземе выщелоченном под ее посевами // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2023. – № 2 (62). – С. 69–75. – DOI: 10.18286/1816-4501-2023-2-69-75.
12. Лякина О.А., Самсонова Н.Е., Новикова Н.Е. Влияние фосфатов пониженной растворимости и кремния на продуктивность и химический состав сельскохозяйственных культур // *Вестник ОрелГАУ*. – 2010. – № 3 (24). – С. 12–16.
13. Конова А.М., Гаврилова А.Ю., Самсонова Н.Е. Эффективность некорневой подкормки льна-долгунца препаратом контролфит-Si на разных фонах минерального питания в условиях Центрального Нечерноземья // *Агрохимия*. – 2023. – № 12. – С. 75–84. – DOI: 10.31857/S0002188123120074.
14. Капранов В.Н. Влияние диатомита и минеральных удобрений на фенотипические признаки растений и урожайность зерновых культур // *Агрохимия*. – 2009. – № 7. – С. 34–43.
15. Modification of chemical properties of cell walls by silicon and its role in regulation of the cell wall extensibility in oat leaves / M.T. Hossain, K. Soga, K. Wakabayashi [et al.] // *J. Plant Phys.* – 2007. – Vol. 164, No. 4. – P. 385–393.
16. Balakhnina T., Borkowska A. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses // *Review Int. Agrophys.* – 2013. – Vol. 27. – P. 225–232.
17. Ma J.F., Yamaji N. Silicon uptake and accumulation in higher plants // *Trends Plant Sci.* – 2006. – No. 11 (8). – P. 392–397.
18. Белоцветова О.Ю., Шильников И.А., Кирпичников Н.А. Влияние фосфорных удобрений различной степени растворимости и известкования на качество растительной продукции (по итогам длительного полевого опыта) // *Агрохимия*. – 2000. – № 5. – С. 41–46.
19. Свирина В.А., Черногаев В.Г. Влияние минеральных удобрений и известкования на динамику эмиссии CO₂, урожай и качество продукции культур звена севооборота // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. – 2024. – № 5. – С. 45–50. – DOI: 10.31857/S2500208224050106.
20. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа: монография / В.М. Косолапов, В.А. Чуйков, Х.К. Худякова [и др.]. – М., 2019. – 272 с.

REFERENCES

1. Gavrilova A.Yu., Konova A.M., *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii*, 2021, No. 2, pp. 71–77, DOI: 10.18286/1816-4501-2021-2-71-77. (In Russ.)
2. Naliukhin A.S., Smirnova A.A., *Plodородie*, 2024, No. 4, pp. 23–26, DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.05. (In Russ.)
3. Ivanova S.V., Kurdakova O.V., Konova A.M., Gavrilova A.Yu., *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2019, No. 12, pp. 19–24, DOI: 10.28983/asj.y2019i12pp19-24. (In Russ.)
4. Abaturov B.D., Kolesnikov M.P., *Uspekhi sovremennoj biologii*, 2023, No. 5, pp. 466–475, DOI: 10.31857/S0042132423050034. (In Russ.)
5. Novikova N.E., Samsonova N.E., *Cifrovye tekhnologii - osnova sovremennogo razvitiya APK* (Digital technologies are the basis for modern development of the agro-industrial complex), Proceedings of the Conference Title, 2020, pp. 77–82. (In Russ.)
6. Samsonova N.E., *Agrohimikaty v XXI veke: teoriya i praktika primeneniya* (Agrochemicals in the 21st Century: Theory and Application), Proceedings of the Conference Title, 2017, 122–124. (In Russ.)
7. Novikova N.E., Samsonova N.E., *Vestnik agrarnoj nauki*, 2020, No. 2, pp. 21–28. (In Russ.)
8. Osipova L.V., Vernichenko I.V., Romodina L.V. [et al.], *Agrohimiya*, 2019, No. 7, pp. 64–74, DOI: 10.1134/S000218811907010X. (In Russ.)
9. Shupinskaya I.A., Samsonova N.E., *Fundamental'nye osnovy sovremennyh agrarnykh tekhnologij i tekhniki* (Fundamentals of modern agricultural technologies and equipment), 2015, pp. 174–177. (In Russ.)
10. Gavrilova A.Yu., Konova A.M., Samsonova N.E., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2023, No. 2, pp. 34–39, DOI: 10.53859/02352451_2023_37_2_34. (In Russ.)

11. Kulikova A.Kh., Karpov A.V., Cherkasov M.S., *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skhoz'ajstvennoj akademii*, 2023, No. 2, pp. 69–75, DOI: 10.18286/1816-4501-2023-2-69-75. (In Russ.)
12. Lyakina O.A., Samsonova N.E., Novikova N.E., *Vestnik OrelGAU*, 2010, No. 3, pp. 12–16. (In Russ.).
13. Konova A.M., Gavrilova A.Yu., Samsonova N.E., *Agrohimiya*, 2023, No. 12, pp. 75–84, DOI: 10.31857/S0002188123120074. (In Russ.)
14. Kapranov V.N., *Agrohimiya*, 2009, No. 7, pp. 34–43. (In Russ.).
15. Hossain M.T., Soga K., Wakabayashi K. [et. al.], Silicon uptake and accumulation in higher plants, *J. Plant Phys*, 2007, No. 164 (4), pp. 385–393.
16. Balakhnina T., Borkowska A., Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses, *Review Int. Agrophys*, 2013, No. 27, pp. 225–232.
17. Ma J.F., Yamaji N., Silicon uptake and accumulation in higher plants, *Trends Plant Sci*, 2006, No. 11 (8), pp. 392–397.
18. Belotsvetova O.Yu., Shilnikov I.A., Kirpichnikov N.A., *Agrohimiya*, 2000, No. 5, pp. 41–46. (In Russ.).
19. Svirina V.A., Chernogaev V.G., *Vestnik rossijskoj sel'skhoz'ajstvennoj nauki*, 2024, No. 5, pp. 45–50, DOI: 10.31857/S2500208224050106. (In Russ.)
20. Kosolapov V.M., Chuikov V.A., Khudyakova Kh.K. [et al.], *Mineral'nye elementy v kormah i metody ih analiza* (Mineral elements in feed and methods of their analysis), Moscow, 2019, 272 p. (In Russ.).

Информация об авторах:

А.Ю. Гаврилова, кандидат биологических наук

А.М. Конова, кандидат сельскохозяйственных наук

Н.Е. Самсонова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Contribution of the authors:

A.Yu. Gavrilova, PhD in Biological Sciences

A.M. Konova, PhD in Agricultural Sciences

N.E. Samsonova, DSc in Agricultural Sciences, professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАПАСОВ НЕОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В УСЛОВИЯХ АРИДНОГО КЛИМАТА

В.И. Емельяненко, А.В. Федотова

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН (ФНЦ агроэкологии РАН), Волгоград, Россия

E-mail: emelyanenko-v@vfanc.ru

Для цитирования: Емельяненко В.И., Федотова А.В. Изучение запасов неорганического углерода в условиях аридного климата // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 35–44. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-35-44.

Ключевые слова: почва, неорганический углерод, запас неорганического углерода, сухостепная зона, лесные насаждения, постагрогенные почвы, карбонаты, гидрокарбонаты, pH.

Аннотация. Проведена оценка запасов неорганического углерода (SIC) в почвах сухостепной зоны Волгоградской области на территории Нижневолжской станции по селекции древесных пород (филиал ФНЦ агроэкологии РАН, город Камышин). Исследование проведено для почв двух биогеоценозов: под лесной растительностью (защитные лесонасаждения, сухой сосновый бор) и естественной степной растительностью (постагрогенные почвы сухой степи). Образцы отобраны из 31 почвенного разреза по 10-сантиметровым слоям до глубины 150 см. Всего исследовано 180 образцов почвы. В образцах определяли содержание карбонатов и гидрокарбонатов, а также плотность, влажность, показатель pH и содержание органического вещества в почве. Почвы оцениваются как уплотненные, крайне скудные по наличию почвенной влаги и органическому веществу. Установлена значительная пространственная вариабельность содержания карбонатов (более 200 %) под лесной растительностью. По содержанию карбонатов и величине pH почвы распределены на четыре кластера, в один из которых попали статистические «выбросы». Отмечены значимые различия запасов неорганического углерода в почвах под лесной и степной растительностью. Запасы неорганического углерода в слое 0–150 см под сухим сосняком оставляют $25,2 \pm 9,5$ тС га⁻¹, под степной растительностью – $54,2 \pm 16,7$ тС га⁻¹, что в 2,1 раза выше. Неорганический углерод в исследованных почвах находится в форме карбонатов кальция и гидрокарбонатов. Основные запасы неорганического углерода для обоих биогеоценозов зафиксированы в почве с глубины 50 см.

STUDY OF INORGANIC CARBON RESERVES IN AN ARID CLIMATE

V.I. Emelyanenko, A.V. Fedotova

Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (FSC of agroecology RAS), Volgograd, Russia

E-mail: emelyanenko-v@vfanc.ru

Keywords: soil, inorganic carbon, reserve of inorganic carbon, dry steppe zone, forest plantations, postagrogenic soils, carbonates, bicarbonates, pH.

Abstract. An assessment of the reserves of inorganic carbon (SIC) in the soils of the dry-steppe zone of the Volgograd region on the territory of the Nizhnevolzhskaya station for breeding tree species (branch of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Kamyshev city) was carried out. The study was conducted for soils of two biogeocenoses: under forest vegetation (protective forest plantations, dry pine forest) and natural steppe vegetation (postagrogenic soils of the dry steppe). The samples were taken from 31 soil sections in 10-centimeter layers to a depth of 150 cm. A total of 180 soil samples were examined. The content of carbonates and bicarbonates, as well as density, humidity, pH, and organic matter content in the soil were determined in the samples. The soils are assessed as compacted, extremely poor in the presence of soil moisture and organic matter. A significant spatial variability of the carbonate content (more than 200%) under forest vegetation has been established. According to the content of carbonates and pH, the soils are divided into four clusters, one of which includes statistical “emissions”. Significant differences in the reserves of inorganic carbon in the soils under forest and steppe vegetation are noted. Reserves of inorganic carbon in the 0–150 cm layer under dry pine trees leave 25.2 ± 9.5 tons ha⁻¹, under steppe vegetation – 54.2 ± 16.7 tons ha⁻¹, which is 2.1 times higher.

The inorganic carbon in the studied soils is in the form of calcium carbonates and bicarbonates. The main reserves of inorganic carbon for both biogeocenoses are recorded in the soil from a depth of 50 cm.

Почва является центральным звеном в формировании углеродного баланса агроэкосистем. Наибольшая концентрация общего углерода сосредоточена в верхнем почвенном слое 0–30 см [1]. Как показали исследования, потери CO_2 , происходящие в процессе окисления неорганического углерода почвы, являются основным путем потери углерода [22]. Земли сухостепных территорий играют важную роль в удовлетворении сельскохозяйственных потребностей, поэтому особенно важны мероприятия по мониторингу и контролю за углеродным балансом. При определении запасов углерода в почве необходимо учитывать, что он входит в состав как органических, так и минеральных соединений [23]. Минеральная часть почвенного углерода складывается из труднорастворимых соединений кальция и магния (CaCO_3 и MgCO_3), а также бикарбонат-ионы ($-\text{HCO}_3$) [4].

Накопление труднорастворимых карбонатных соединений происходит в связи с рядом причин: низким содержанием почвенной влаги в комплексе со стабильно высокой температурой воздуха, малой активностью почвенной микробиоты, в результате проведения сельскохозяйственных работ.

Неорганический углерод в почвах накапливается преимущественно в засушливых условиях из-за сочетания нескольких ключевых факторов: малой обеспеченности влаги, скудной растительности, низкой активности микроорганизмов. Неорганический углерод составляет до 90 % пула углерода почвы в засушливых районах и в некоторых случаях может составлять от 20 до 60 % всех выбросов CO_2 из верхнего слоя почвы [21].

Весь неорганический углерод в почве можно разделить на три группы в зависимости от происхождения: геогенные карбонаты, унаследованные от материнской породы; биогенные карбонаты, образовавшиеся из растительных остатков или в процессе жизнедеятельности наземных и водных животных; педогенные карбонаты, образовавшиеся в процессе повторного осаждения ионов [24].

Карбонаты играют важную роль в биогеоценоотическом круговороте, существенно влияют на физические и химические свойства почвы (кислотность и щелочность почвы, пористость, водопроницаемость, буферную способность pH и электропроводность). Отметим также способность карбонатов влиять на плодородие и мелиоративность путем формирования стабильных крупнопористых почвенных агрегатов [4]. Карбонат-ионы накапливаются в мелких глинистых и иловых фракциях [22]. Существует зависи-

мость содержания неорганического углерода от показателя pH [14, 19]. Обнаружена закономерность глубины залегания карбонатов в почве от температурного и водного режима территории, замедляющих выщелачивание, также отмечается переход в восходящую миграцию [12]. На миграцию карбонатов в почвах влияет орошение, карбонатный профиль становится более подвижным, отмечено активное накопление карбонатов в верхних слоях орошаемой почвы [2].

По данным отчета о состоянии окружающей среды в Волгоградской области, объект данного исследования, а именно каштановые почвы, занимают 70 % от общего земельного фонда области [11]. В засушливых условиях баланс в каштановых почвах смещен в сторону неорганического углерода, а на глубину их залегания влияют как естественные факторы, такие как глубина проникновения атмосферных осадков, так и антропогенные – вспашка, внесение удобрений [16].

Огромный объем неорганического углерода чувствителен к изменениям окружающей среды, в том числе к реакции среды почвы. Кислоты растворяют карбонат кальция, и происходит его выделение в форме как газообразного углекислого газа. Поэтому важно учитывать роль неорганического углерода в глобальном и региональном углеродном балансе, а также проводить его оценку при изменяющихся климатических условиях.

Целью исследования является оценка запасов неорганического углерода в сухостепных почвах Волгоградской области в условиях лесного и степного биогеоценозов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследований выступали почвы сухостепной зоны, расположенные в Манычско-Донской провинции на Приволжской возвышенности в границах на территории филиала ФНЦ агроэкологии РАН.

Климат города Камышин умеренно континентальный. По данным климатической станции за последние 10 лет среднегодовая температура воздуха составила 9,74 °C. Самым холодным статистически является январь – 7,18 °C, а самыми жаркими июль и август со средней температурой воздуха 23,9 °C. Среднегодовое суммарное количество осадков составило 397 мм. Наибольшее количество осадков приходится на май и июль – около 45 мм, наименьшее – на

август со средним значением 8,5 мм. Осадки носят ливневый характер, а ветровой режим характеризуется суховеями в летний период.

Исследование проводили в 2024 г. на двух участках (рис. 1). На каждом участке выбраны по 5 площадок площадью 50×50 м. На каждой пробной площадке закладывался один

полнопрофильный почвенный разрез (глубиной до 150 см) и по две полуямы (глубиной до 70 см). Отбор проб для выполнения лабораторных анализов осуществлялся по слоям 10 см. Почвы сформированы на палево-бурых карбонатных суглинках и глинах.



Рис. 1. Местоположение площадок
Location of the sites

Участок № 1 (КЛ) (рис. 2, а), его площадь 43,2 га. Растительный покров представлен неравномерно сомкнутыми сосняковыми лесонасаждениями (*Pinus sylvestris* L.) средней густоты, полынью и житняком, возраст лесонасаждений более 70 лет. Основные формы

рельефа – ямы и ложбины глубиной от 30 до 100 см. Почва представлена Haplic Kastanozems, Greyzemic Kastanozems, Eutric Cambisols, Eutric Regosols, Eutric Lamellic Arenosols, Eutric Protic Lamellic (WRB-2022) [18].

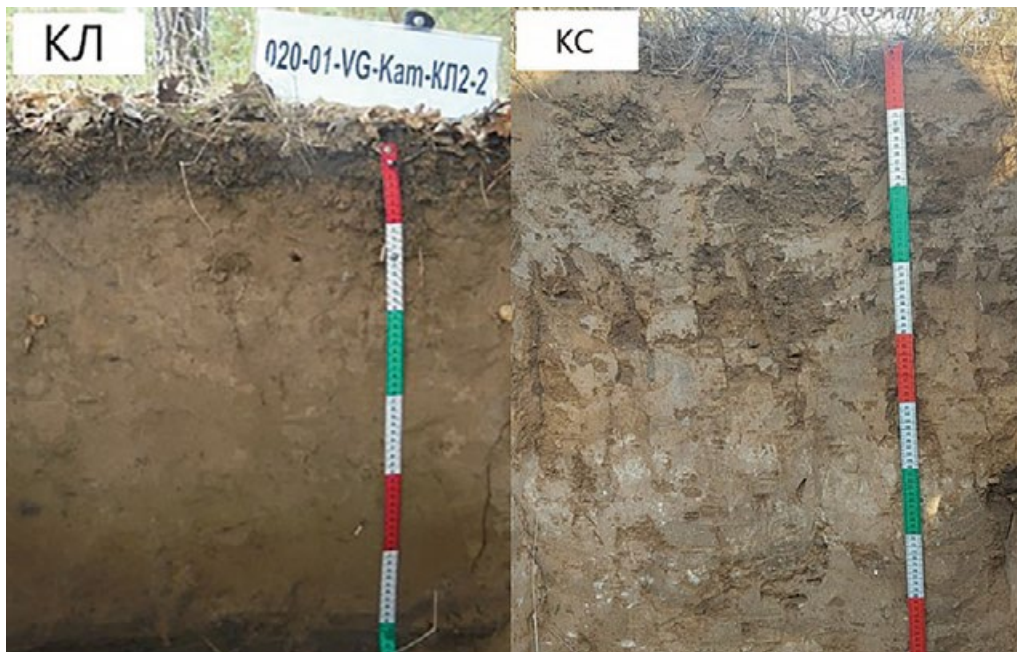


Рис. 2. Участки исследования: а – почва лесной зоны, б – почва степной зоны
Study areas: а – the soil of the forest zone, б – the soil of the steppe zone

Участок № 2 (КС) (рис. 2, б) площадью 26,2 га расположен на равнинной территории, подвергавшийся вспашке до 2005 г., т. е., является постагрогенной местностью. Растительность представлена густым травостоем ковыля, мятлика, полыни, костра, тысячелистника. Почва представлена Haplic Kashtanozems, Eutric Cambisols, Eutric Arenosols, Haplic Chernozems, Haplic Phaeozems (WRB-2022).

Показатель pH_{H_2O} измерялся из почвенной суспензии инструментальным методом, установленным ГОСТ 26423–85 [7].

Определение содержания карбонатов кальция в почве проводилось газообъемным методом по методике ISO 10693 [17].

Содержание гидрокарбонатов в почвенных образцах определялось титрованием серной кислотой 0,02 н по методике ГОСТ 26424–85 [8].

Определение показателя рН и автоматическое титрование для измерения уровня гидрокарбонатов проводились раздельно. Определение показателя рН проводилось из почвенной суспензии, а определение гидрокарбонатов – из водной вытяжки. Таким образом, возможно появление погрешности [4].

Определение влажности почвы проводили по методике ГОСТ 28268–89 [9].

Определение количества органического вещества в почве измеряли по методу Тюрина [10].

Запас неорганического углерода (SIC) определяли по формуле вычисления запаса вещества с учетом плотности почвы и мощности слоя [13].

Наиболее часто используемым методом измерения количества неорганического углерода в почве является метод сухого сжигания. Проведение сравнительных измерений содержания неорганического углерода в почве путем применения различных методик может привести к уточнению уже полученных нами результатов, а также к оптимизации лабораторной работы.

Обработка данных осуществлялась с использованием программного обеспечения R Studio и Microsoft Excel. Применялись методы описательной статистики, а также кластерный и регрессионный анализ. Для сравнения средних значений выборки использовался непараметрический критерий Манна–Уитни. Уровень значимости установлен на уровне $p = 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходные данные включают массив экспериментальных результатов, отражающих свойства почв, изученных в рамках почвенных разрезов. Данные организованы по биогеоценозам – КЛ и КС, с дальнейшим разделением по площадкам и почвенным слоям. На основе этих данных сформированы выборки, которые подверглись статистической обработке. В ходе анализа исключались показатели содержания карбонатов, равные нулю.

В таблице приведены результаты статистической обработки выборок по каждому изученному свойству.

Статистические показатели по свойствам почв лесной и степной зон
Statistical indicators on soil properties of forest and steppe zones

Параметры	ρ_b , г/см ³		W , %		$C_{орг}$, %		pH		CaCO ₃ , %		HCO ₃ ⁻ , %	
БГЦ	КЛ	КС	КЛ	КС	КЛ	КС	КЛ	КС	КЛ	КС	КЛ	КС
$\bar{x}$	1,45	1,55	3,87	5,87	0,64	0,93	6,29	6,71	1,37	2,71	0,011	0,024
$\tilde{x}$	1,49	1,57	3,12	6,37	0,23	0,84	6,23	6,7	0	0,05	0,006	0,023
Se	0,02	0,01	0,26	0,2	0,09	0,06	0,06	0,05	0,27	0,33	0,0009	0,001
Sd	0,20	0,10	2,67	2,08	1,30	0,59	0,58	0,48	3,36	4,26	0,011	0,016
V, %	13,79	6,45	68,99	35,43	203,12	63,44	9,07	7,15	245,25	157,19	100,00	66,66

ρ_b – плотность, г/см³; W – влажность, %; $C_{орг}$ – количество органического вещества, %; pH – показатель актуальной кислотности; CaCO₃ – количество карбоната кальция, %; HCO₃⁻ – количество гидрокарбонат-иона, %.

Анализ данных показал, что величины изученных свойств для постагрогенных почв участка КС выше, чем для КЛ. Почвы малобеспечены влагой и органическим веществом (средние ве-

личины ОВ менее 1 %), однако имеют значительную пространственную вариабельность (КЛ – 203,12 %; КС – 63,44 %). На участке КЛ высокое варьирование величин содержания ор-

ганического вещества почвы связано с неравномерным формированием лесной подстилки и влиянием микрорельефа. Содежание карбонатов в почвах степной зоны в среднем выше почти в два раза при значительном пространственном варьировании (КЛ – 245,25 %; КС – 157,19 %). Содержание гидрокарбонатов в почвах участка КС выше почти в два раза. Незначительная вариабельность характерна для величины плотности почвы, которая традицинно является одним из наиболее стабильных показателей при отсутствии сельскохозяйственной деятельности.

Отметим, что подавляющее большинство исследований связано с SOC, а неорганической частью часто пренебрегают [10]. В последнее время возрастает интерес к изучению запасов неорганического углерода в почве [16, 20, 21].

Для сравнения выборочных средних почвенных свойств объектов исследования использовали непараметрический критерий Манна–Уитни, что позволяет избежать проверки на нормальность распределения. Результат теста Манна–Уитни показал, что между почвами двух БГЦ существуют статистически значимые различия ($p < 0,05$) по всем исследованным параметрам.

Внутрибиогеоценотическая вариабельность свойств для почв степной зоны отсутствует. Для участка КЛ статистически значимые отличия почвенных свойств выявлены для поверхностного слоя 0–10 см и с глубины 120 см ($p < 0,05$).

Из рис. 3 видно, что пространственное распределение карбонатов значительно различается для исследованных объектов.

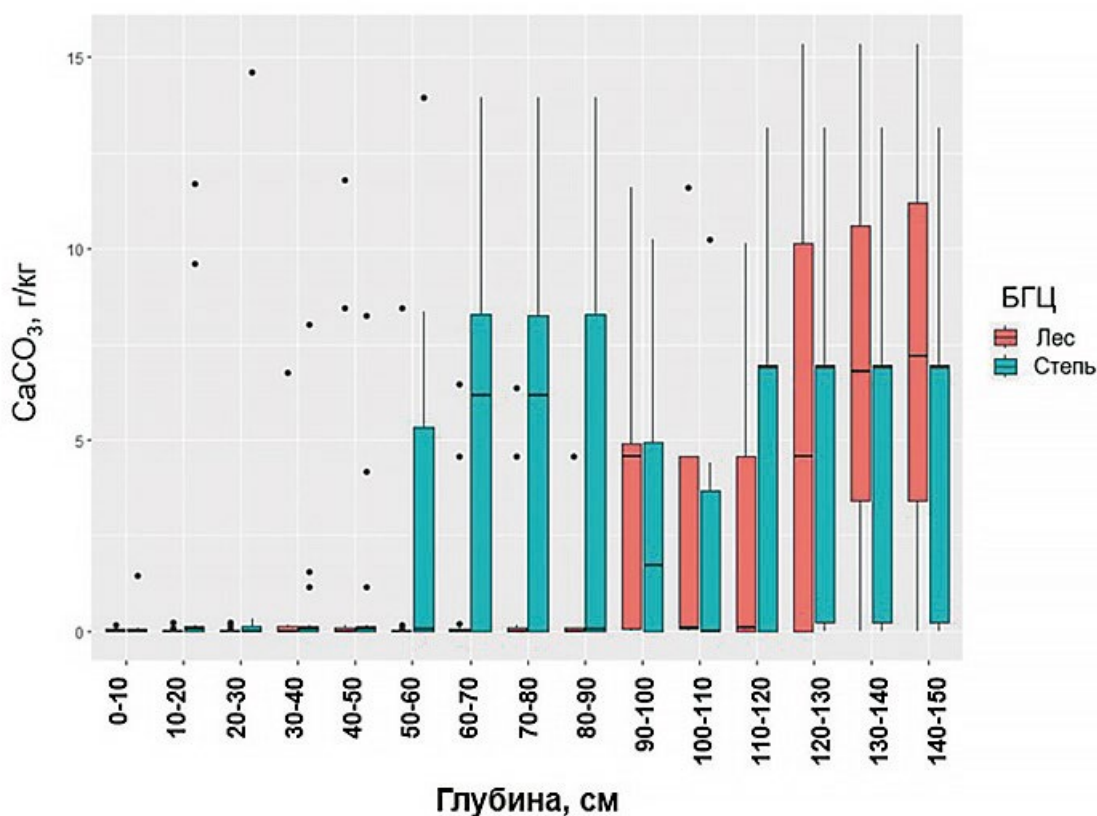


Рис. 3. Диаграмма размаха содержания карбонатов по слоям в лесной и степной зонах
Diagram of the carbonate content by layer in forest and steppe zones

Для постагрогенных почв сухой степи (КС) залегание карбонатного профиля значительно выше, чем в почвах под сухим сосновым бором (см. рис. 3, б). В лесной зоне говорить о значимом содержании карбонатов можно только с глубины 90 см, до этой отметки наблюдаются лишь локальные точки аккумуляции с высоким содержанием карбонатов. Увеличение содержания карбонатов

в профиле почв участка КС наблюдается с глубины 120 см (до 15,34 %). Подобное профильное распределение карбонатов, вероятно, связано с орошением участка ранее, за счет чего произошло подтягивание карбонатов к поверхности. Показано, что запас неорганического углерода в постагрогенной почве в 2,5 раза выше по сравнению с пахотной каштановой почвой [16].

В вопросе оценки неорганического углерода почв необходимо учитывать не только нерастворимые карбонаты, но и бикарбонаты (или гидро-

карбонаты). Распределение гидрокарбонат-ионов по почвенному профилю на исследуемых участках имеет значительные различия (рис. 4).

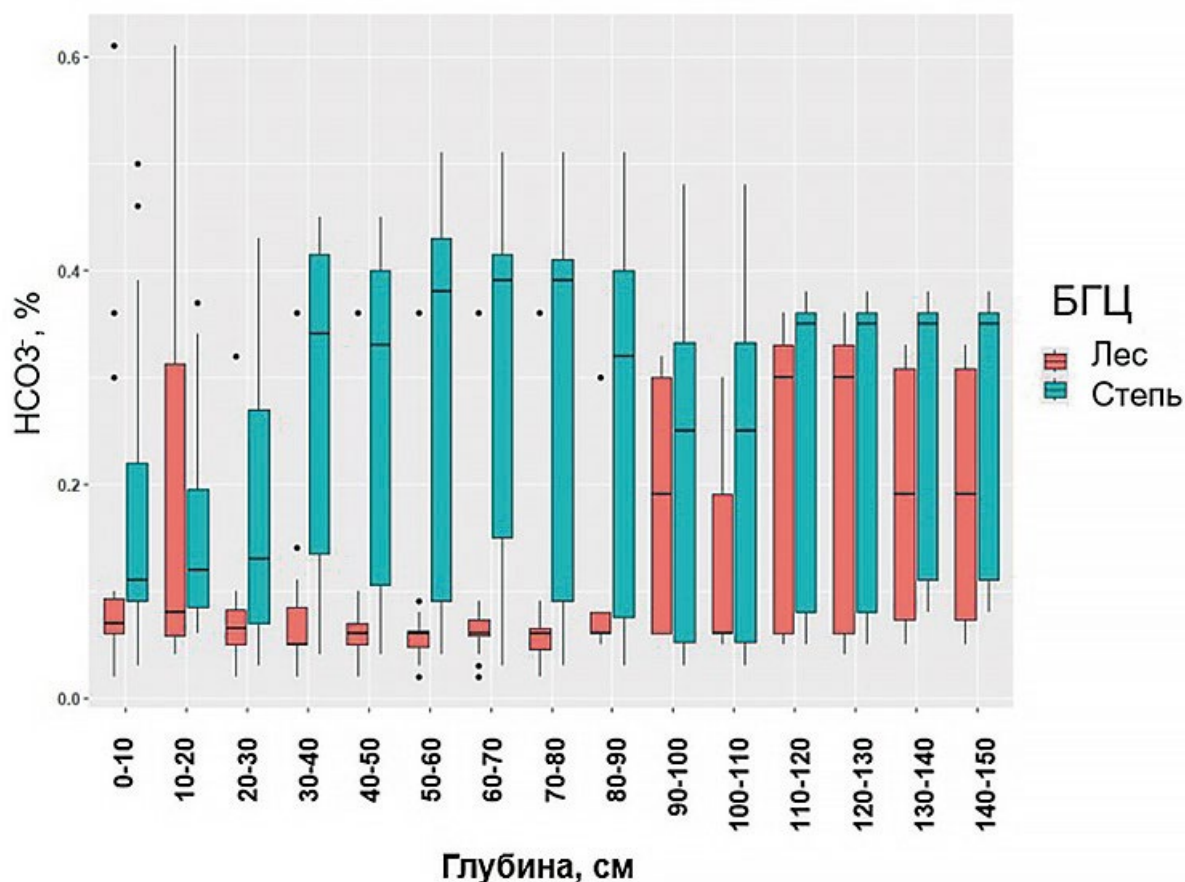


Рис. 4. Диаграмма размаха содержания гидрокарбонатов по слоям
Diagram of the scale of the content of bicarbonates by layers

На участке КЛ основной запас гидрокарбонатов начинается с глубины 90 см. Отдельные локальные очаги (содержание гидрокарбонатов более 0,06 %) отмечаются преимущественно на глубине 130–150 см. А почвах степного БГЦ гидрокарбонаты распределены по профилю более равномерно, а значимое увеличение содержания наблюдается с глубины 30 см.

Объемная обзорная статья была опубликована в журнале *Agrosulture* в 2022 г., в ней было проведено рецензирование 72 научных работ, посвященных изучению неорганического углерода: от факторов, влияющих на образование карбонатных отложений в почве, до взаимосвязи между SIC и SOC.

Выявлено, что в Китае 84 % всего запаса SIC сосредоточено в районах с годовым количеством осадков менее 500 мм, а превращение пахотных земель в сухих регионах в леса на центральном лёссовом плато привело к перераспределению

SIC по профилю почвы, но увеличения чистого содержания SIC не наблюдалось.

Полученные нами данные об увеличении содержания неорганического углерода с глубиной согласуются с полученными данными на примере сухостепной зоны Китая. Примерно 80 % SIC улавливается на глубине ниже 1 м, а 50 % хранится на глубине ниже 3 м [21]. Существует определенное количество исследований SIC и на территории России, но очень незначительное их количество связано с сухостепной зоной [3, 5, 15].

Как уже было упомянуто, величина pH показывает сильную корреляцию от содержания карбонатов в почве (рис. 5, а). Для почв участка КЛ величина pH находится в диапазоне от 5,27 до 8 и в среднем составляет 6,29. Наибольший показатель pH в почвах участка КЛ отмечается в слое 140–150 см – 8,75. Для постагрогенных почв минимальный показатель pH равен 5,8, максимальный – 8,9, средний – 6,71.

На участке КС средний показатель pH составляет 6,71, при этом его значения колеблются в диапазоне от 5,8 до 8,9. В постагрогенных почвах сухостепной зоны наблюдается тенденция к увеличению уровня pH с глубиной, достигая

значения 7,5 на глубине 120–150 см. Кроме того, в слое 50–100 см фиксируются отдельные участки с повышенным уровнем pH, приближающимся к девяти.

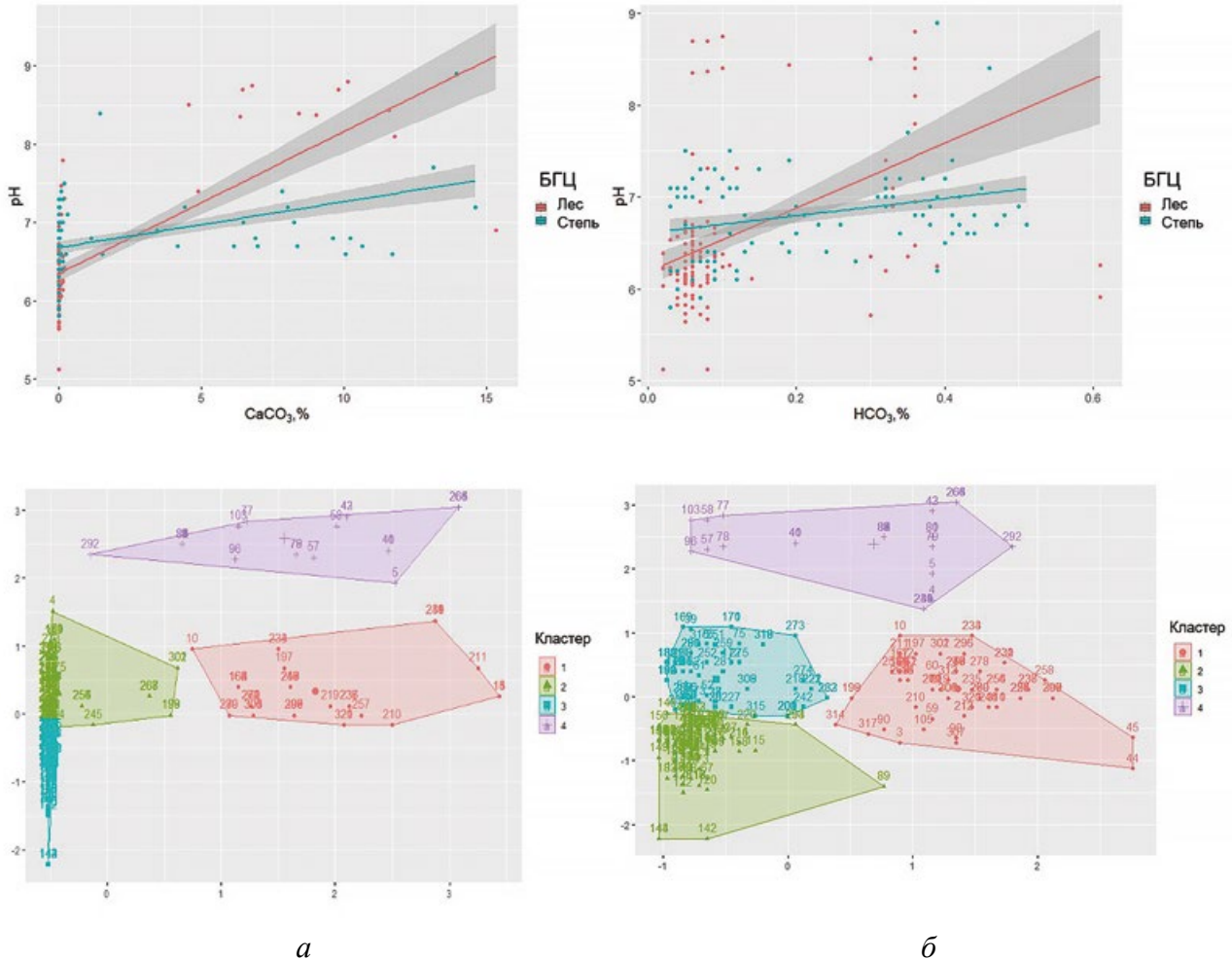


Рис. 5. Зависимость содержания карбонатов и гидрокарбонатов от pH в почве – а; результаты кластерного анализа содержания карбонатов и гидрокарбонатов в почве – б

Dependence of the content of carbonates and bicarbonates on the pH in the soil (а); results of cluster analysis of the content of carbonates and bicarbonates in the soil (б)

С целью структурирования и оценки исследованных почв по содержанию неорганического углерода проводился кластерный анализ (рис. 5, б). Количество кластеров определяли методом локтя, проверка проводилась по методу силуэта. В данном случае массив данных обрабатывался комплексно, без разделения на участки. На рисунке видно, что полученный массив данных распределяется на четыре кластера, нулевой точкой на осях X и Y отмечены линии средних значений. Кластерный анализ подтвердил, что содержание карбонатов и гидрокарбонатов в сухостепных почвах неоднородно. Наиболее широко представлены почвы с низкими величинами pH и

содержание незначительное количество карбонатов. Однако имеются локальные очаги высокого содержания карбонатов, которые превышают средние показатели запасов неорганического углерода на исследованных территориях сухостепной зоны.

Запасы неорганического углерода в почвах исследованных территорий представлены по слоям опробывания (рис. 6). Отмечено увеличение SIC с глубиной для постагрогенных почв степной зоны. Под сухим сосновым бором с глубины 60 см SIC уменьшается. Это связано с облегчением гранулометрического состава и морфологическими особенностями профиля и подстилающей породы.

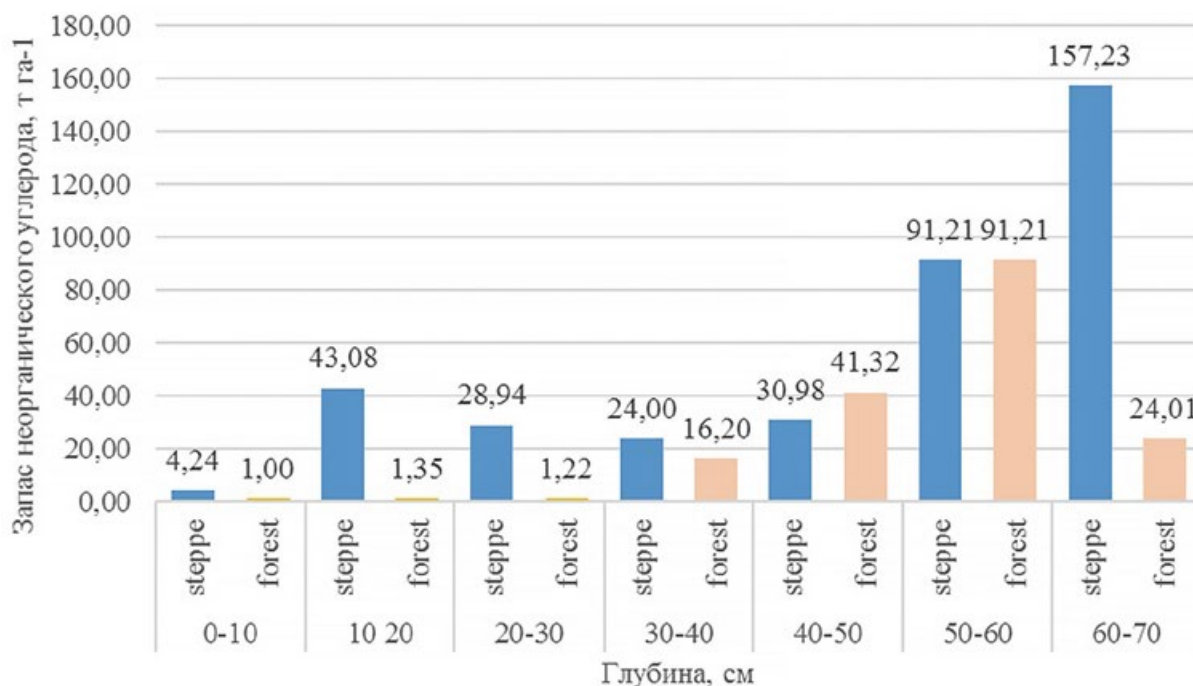


Рис. 6. Запас неорганического углерода в почве, т/га⁻¹
Reserves of inorganic carbon in the soil, t/ha⁻¹

Из рисунка видно, что максимальные запасы неорганического углерода SIC характерны для почв степной зоны на глубине 60–70 см и составляют 157,23 т/га⁻¹. Почвы защитных лесонасаждений характеризуются гораздо меньшим запасом неорганического углерода в почве, в частности, в слое 0–30 см отмечены минимальные запасы – в среднем 1,18 т/га⁻¹. При расчете средних показателей содержания неорганического углерода в слое 0–70 см установлено: в лесной зоне этот показатель равен 25,19 т/га⁻¹, тогда как в степной зоне он достигает 54,24 т/га⁻¹, превышая значение для лесной зоны более чем в два раза.

В постагрогенной почве под естественной степной растительностью в слое 10–20 см SIC находится на уровне 43 т/га⁻¹, что создает предпосылки для организации систематического мониторинга изменений запасов и глубины наибольшего депонирования неорганического углерода в почвах сухостепной зоны.

ВЫВОДЫ

1. В сухостепной зоне содержание неорганического углерода в почвах под степной растительностью ($54,2 \pm 16,7$ т/га⁻¹) значительно превышает аналогичный показатель под лесной растительностью ($25,2 \pm 9,5$ т/га⁻¹). Неорганический углерод в почвенном профиле преимущественно пред-

ставлен карбонатами кальция с незначительным содержанием гидрокарбонатов. Исследования выявили высокую пространственную изменчивость содержания карбонатов в почвах сухостепной зоны, особенно под лесной растительностью, где она может достигать более 200 %. По величине содержания карбонатов и pH почвы выделено четыре кластера.

2. SIC увеличиваются с глубиной, что связано с морфологическими особенностями почвенного профиля, карбонатной породой и частично с вымыванием гидрокарбонатов в нижние горизонты. В поверхностных слоях почвы под лесной растительностью наблюдается обеднение неорганическим углеродом. Основные запасы SIC зафиксированы с глубины 50 см. Для постагрогенных почв под степной растительностью отмечено более высокое залегание карбонатов, чем в лесной зоне. Суммарный запас SIC для постагрогенных почв степной зоны более чем в 2 раза превышает запас SIC в почвах сухого соснового бора.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания № FNFE-2025-0012 «Теоретические основы и методология оценки баланса парниковых газов на пресноводных водоемах в засушливых условиях юга России».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оценка запасов углерода в почве на территории карбонового полигона «Карбон–Поволжье» / Л. Александрова, А.С. Гордеев, В.Р. Бабичук [и др.] // Российский журнал прикладной экологии. – 2023. – № 4 (36). – С. 12–21. – DOI: 10.24852/2411-7374.2023.4.12.21.
2. Барановская В.А., Азовцев В.И. Влияние орошения на миграцию карбонатов в почвах Поволжья // Почвоведение. – 1981. – № 10. – С. 17–21.
3. Динамика карбонатов в почвах юго-востока Русской равнины за историческое время / А.В. Борисов, В.А. Демкин, М.В. Ельцов, Я.Г. Рысков // Аридные экосистемы. – 2003. – № 19–20, Т. 9. – С. 54–64.
4. Воробьева Л.А., Панкова Е.И. Щелочные засоленные почвы России // Почвоведение. – 2008. – № 5. – С. 517–532.
5. Горохова И.Н., Чурсин И.Н. Карбонаты в орошаемых почвах Прикаспийской низменности // Аридные экосистемы. – 2021. – № 2 (87). – С. 90–97. – DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10154.
6. ГОСТ 26213–91. Почвы. Методы определения органического вещества. – М.: Госстандарт СССР, 1993. – 8 с.
7. ГОСТ 26423–85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. – М.: Госстандарт СССР, 1985. – 6 с.
8. ГОСТ 26424–85. Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке. – М.: Госстандарт СССР, 1986. – 4 с.
9. ГОСТ 28268–89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – М.: Госстандарт СССР, 1989. – 8 с.
10. Наумова Н.Б. К вопросу об определении содержания органического углерода в почве // Почвы и окружающая среда. – 2018. – Т. 1, № 2. – С. 98–103. – DOI: 10.31251/pos.v1i2.13.
11. Доклад «О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2022 году» / Е.П. Православнова, А.В. Лемегукин, Н.В. Петрова [и др.]. – Волгоград, 2023. – 300 с.
12. Рогожникова Е.В., Зборищук Ю.Н. Карбонаты в некоторых почвах Каменной степи // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. – 2009. – № 3. – С. 17–24.
13. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Методическое руководство по сбору и обработке данных о запасах и бюджете углерода на уровне площадки мониторинга в почвах. – М.: МБА, 2023. – С. 104–107.
14. Цховребов В.С., Деркачева Л.Ю., Никифорова А.М. Изменение содержания карбонатов и pH почв Кисловодских парков при смене растительности // Агрохимический вестник. – 2017. – № 4. – С. 34–37.
15. Черепанова А.М., Шенелев А.Г. Содержание различных форм углерода в покровных отложениях ледового комплекса Центральной Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 68–77. – DOI: 10.31242/2618-9712-2023-28-1-68-77.
16. Чимитдоржиева Э.О. Запасы углерода в постагрогенных сухостепных почвах Западного Забайкалья // Аридные экосистемы. – 2017. – Т. 23, № 3 (72). – С. 59–65.
17. ISO 10693. Soil quality. Determination of carbonate content. Volumetric method. INTERNATIONAL STANDARD, 1995. 9 p.
18. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th ed. Vienna: International Union of Soil Sciences (IUSS).
19. Relationships between soil pH and soil carbon in China's carbonate soils / S. Jin [et al.] // Fresenius Environmental Bulletin. – 2018. – Т. 27, № 1. – P. 605–611.
20. Monger H.C., Steiner R.L. Mineralogical distinctions of carbonates in desert soils // Soil Science Society of America Journal. – 2005. – Vol. 69, № 6. – P. 1773–1781. – DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0275>.
21. Soil inorganic carbon as a potential sink in carbon storage in dryland soils—a review / A. Naorem [et al.] // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, № 8. – P. 1256. – DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12081256>.
22. Inorganic carbon losses by soil acidification jeopardize global efforts on carbon sequestration and climate change mitigation / S. Raza [et al.] // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 315. – P. 128036. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128036.
23. Soil inorganic carbon, the other and equally important soil carbon pool: Distribution, controlling factors, and the impact of climate change / A. Shariffar [et al.] // Advances in Agronomy. – 2023. – Vol. 178. – С. 165–231. – DOI: 10.1016/bs.agron.2022.11.005.
24. Zamanian K., Pustovoytov K., Kuzyakov Y. Pedogenic carbonates: Forms and formation processes // Earth-Science Reviews. – 2016. – Vol. 157. – P. 17. – DOI: 10.1016/j.earscirev.2016.03.003.

REFERENCES

1. Aleksandrova, L., Gordeev, A.S., Babichuk, V.R., Kurynceva, P.A., Selivanovskaja, S.Ju., *Rossiiskij zhurnal prikladnoj jekologii*, 2023, No. 4 (36), pp. 12–21, DOI: 10.24852/2411-7374.2023.4.12.21. (In Russ.)
2. Baranovskaja V.A., Azovcev V.I., *Pochvovedenie*, 1981, No. 10, pp. 17–21. (In Russ.)
3. Borisov A.V., Demkin V.A., El'cov M.V., Ryskov Ja.G., *Aridnye jekosistemy*, 2003, No. 19–20, pp. 54–64. (In Russ.)

4. Vorob'eva L.A., Pankova E.I., *Pochvovedenie*, 2008, No. 5, pp. 517–532. (In Russ.)
5. Gorohova I.N., Chursin I.N., *Aridnye jekosistemy*, 2021, No. 2 (87), pp. 90–97, DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10154. (In Russ.)
6. *GOST 26213–91*, Pochvy. Metody opredelenija organicheskogo veshhestva, Moscow: Gosstandart SSSR, 1993, 8 p. (In Russ.)
7. *GOST 26423–85*, Pochvy. Metody opredelenija udel'noj jelektricheskoy provodimosti, pH i plotnogo ostatka vodnoj vytjazhki, Moscow: Gosstandart SSSR, 1985, 6 p. (In Russ.)
8. *GOST 26424–85*, Pochvy. Metod opredelenija ionov karbonata i bikarbonata v vodnoj vytjazhke, Moscow: Gosstandart SSSR, 1986, 4 p. (In Russ.)
9. *GOST 28268–89*, Pochvy. Metody opredelenija vlazhnosti, maksimal'noj gigroskopicheskoy vlazhnosti i vlazhnosti ustojchivogo zavjadanija rastenij, Moscow: Gosstandart SSSR, 1989, 8 p. (In Russ.)
10. Naumova N.B., *Pochvy i okruzhajushhaja sreda*, 2018, T. 1, No. 2, pp. 98–103, DOI: 10.31251/pos.v1i2.13. (In Russ.)
11. Pravoslavnova E.P., Lemegukin A.V., Petrova N.V. i dr., *Doklad «O sostojanii okruzhajushhej sredy Volgogradskoj oblasti v 2022 godu»* (Report “On the state of the environment in the Volgograd region in 2022”), Volgograd, 2023, 300 p.
12. Rogozhnikova E.V., Zborishhuk Ju.N., *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 17. Pochvovedenie*, 2009, No. 3, pp. 17–24. (In Russ.)
13. Fomin G.S., Fomin A.G., *Metodicheskoe rukovodstvo po sboru i obrabotke dannyh o zapasah i bjudzhetе ugleroda na urovne ploshhadi monitoringa v pochvah* (Methodological guidelines for collecting and processing data on carbon stocks and budgets at the monitoring site level in soils), Moscow: MBA, 2023, pp. 104–107. (In Russ.)
14. Chovrebov V.S., Derkacheva L.Ju., Nikiforova A.M., *Agrohimicheskij vestnik*, 2017, No. 4, pp. 34–37. (In Russ.)
15. Cherepanova A.M., Shepelev A.G., *Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики*, 2023, T. 28, No. 1, pp. 68–77, DOI: 10.31242/2618-9712-2023-28-1-68-77. (In Russ.)
16. Chimitdorzhieva Je.O., *Aridnye jekosistemy*, 2017, T. 2, No. 3 (72), pp. 59–65. (In Russ.)
17. ISO 10693. Soil quality. Determination of carbonate content. Volumetric method. INTERNATIONAL STANDARD, 1995, 9 p.
18. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th ed. Vienna: International Union of Soil Sciences (IUSS)
19. Jin S. et al., Relationships between soil pH and soil carbon in China's carbonate soils, *Fresenius Environmental Bulletin*, 2018, Vol. 27, No. 1, pp. 605–611.
20. Monger H.C., Steiner R.L., Mineralogical distinctions of carbonates in desert soils, *Soil Science Society of America Journal*, 2005, Vol. 69, No. 6, pp. 1773–1781, DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0275>.
21. Naorem A. et al., Soil inorganic carbon as a potential sink in carbon storage in dryland soils—a review, *Agriculture*, 2022, Vol. 12, No. 8, pp. 1256, DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12081256>.
22. Raza S. et al., Inorganic carbon losses by soil acidification jeopardize global efforts on carbon sequestration and climate change mitigation, *Journal of Cleaner Production*, 2021, Vol. 315, pp. 128036, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128036.
23. Sharififar A. et al., Soil inorganic carbon, the other and equally important soil carbon pool: Distribution, controlling factors, and the impact of climate change, *Advances in Agronomy*, 2023, Vol. 178, pp. 165–231, DOI: 10.1016/bs.agron.2022.11.005.
24. Zamanian K., Pustovoytov K., Kuzyakov Y., Pedogenic carbonates: Forms and formation processes, *Earth-Science Reviews*, 2016, Vol. 157, pp. 17, DOI: 10.1016/j.earscirev.2016.03.003.

Информация об авторах:

В.И. Емельяненко, лаборант-исследователь

А.В. Федотова, зам. директора по научной работе ФНЦ агроэкологии РАН, доктор биологических наук, профессор

Contribution of the authors:

V.I. Emelyanenko, laboratory research assistant

A.V. Fedotova, Deputy Director for Research, Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНЧАТЫХ ЗЕРЕН У ЛИНИЙ ОВСА ГОЛОЗЕРНОГО**О.А. Жуйкова, Г.А. Баталова***Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, Киров, Россия***E-mail:** zhuikova_o@mail.ru

Для цитирования: Жуйкова О.А., Баталова Г.А. Формирование пленчатых зерен у линий овса голозерного // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 45–53. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-45-53.

Ключевые слова: овес, линии, зерно, индекс среды, сумма осадков, среднесуточная температура.

Реферат. Исследования выполнены в 2022–2024 гг. в ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Рудницкого» (ФАНЦ Северо-Востока). Цель исследований – изучить линии овса голозерного селекции ФАНЦ Северо-Востока по формированию пленчатых зерен при нестабильных климатических условиях Кировской области. Выявлено, что все генотипы формировали пленчатые зерна, количество их зависело от погодных условий на 42,3 %. Благоприятные условия для образования пленчатых зерен складывались при среднесуточной температуре воздуха от 18,6 °C в период «выход в трубку – молочная спелость», а при температуре воздуха 19,7 °C линии 61h21 и 4h18 имели только голые зерна. Также большему количеству пленчатых зерен способствовали более засушливые условия в периоды «всходы – кущение» и «выход в трубку – выметывание» при сумме осадков менее 15 мм. Слабая реакция на изменение условий года ($bi < 1$) выявлена у линий 5h18, 6h18, 58h21, 1h18, 64h21, 72h21, 3h18, 63h11, 4h18. Стабильное формирование пленчатых зерен отмечено у пяти линий (3h18, 64h21, 6h18, 58h21, 1h18) и сортов Першерон, Нижнегородец, Вятский. Изменчивость формирования пленчатых зерен у голозерных генотипов овса зависела и от взаимодействия факторов «генотип и условия года» на 50,2 %. Требованиям ГОСТ Р 70794–2023 отвечали пять генотипов, которые формировали до 6 % невышелушенного зерна (6h18, 1h18, 64h21, 72h21, 4h18). Линии 1h18 и 4h18 отличились высокой урожайностью и крупностью зерна, а линии 1h18, 6h18, 64h21 и 72h21 имели высокую нерасоспецифическую устойчивость к основным в нашем регионе грибным заболеваниям.

FORMATION OF HUSKER GRAINS IN NAKED OAT LINES**O.A. Zhuikova, G.A. Batalova***Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia***E-mail:** zhuikova_o@mail.ru

Keywords: oats, lines, grain, environment index, precipitation amount, average daily temperature.

Abstract. The research was carried out in 2022–2024 at the Federal State Budgetary Institution FANTS of the North-East. The purpose of the research is to study the naked oat breeding lines of the FANTS of the North-East for the formation of grain with husk under unstable climatic conditions of the Kirov region. It was revealed that all genotypes formed of grain with husk, their quantity depended on weather conditions by 42.3 %. Favorable conditions for the formation of grain with husk of were formed at an average daily air temperature of 18.6 °C during the period “stooling – milk maturity”, and at an air temperature of 19.7 °C, the 61h21 and 4h18 lines had only husker grains. The formation of grain with husk was facilitated by drier conditions during the “seadling – tillering” and “tube–sweeping” periods with precipitation totals of less than 15 mm. A weak reaction to a change in the year position ($bi < 1$) was detected at the lines of 5h18, 6h18, 58h21, 1h18, 64h21, 72h21, 3h18, 63h11, 4h18. Stable formation of grain with husk was noted in five lines (3h18, 64h21, 6h18, 58h21, 1h18) and varieties Percheron, Nizhegorodets, Vyatsky. The variability of the formation of grain with husk in naked oat genotypes also depended on the interaction of the factors “genotype and conditions of the year” by 50.2 %. According to GOST R 70794–2023, 5 genotypes were identified, which regulated up to 6 % of grain with husk (6h18, 1h18, 64h21, 72h21, 4h18). Lines 1h18 and 4h18 were distinguished by high yields and grain size, and lines 1h18, 6h18, 64h21 and 72h21 had high non-specific resistance to the main fungal diseases in our region.

Основным производителем зерна в мире считается Россия, по производству овса занимая второе место в 2023–2024 гг. Посевные площади овса в 2024 г. в стране, по данным Минсельхоза РФ, достигли минимальных размеров и составили 1707,6 тыс. га [1]. Однако при рассмотрении длительного периода урожайность культуры показала растущую динамику. За последние пять лет урожайность овса выросла на 7,5 %. Анализ среднегодовых показателей за длительный период позволяет исключить влияние природно-климатических факторов и определить вклад использования новых сортов и передовых технологий в изменение урожайности [2].

По данным ФГБУ «Россельхозцентр» по Кировской области в регионе в 2023 г. овсом было засеяно 41 718,7, а в 2024 гг. – 44 738,8 га. При этом более 86 % площадей занято сортами селекции ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого» (ФАНЦ Северо-Востока), среди которых большую популярность имеют сорта пленчатые Кречет и Медведь. Адаптивный сорт Кречет включен в Государственный реестр селекционных достижений с 2005 г. Сорт обеспечивает высокую урожайность и качество зерна независимо от условий вегетации. По данным иммуноферментного анализа, содержание глютена в зерне данных сортов не превышает 0,2 мг/100 г при норме 2 мг/100 г, что указывает на их пригодность для производства безглютеновых продуктов питания (gluten free) [3]. Сорт Медведь включен в Госреестр с 2016 г. в качестве ценного по качеству зерна с урожайностью по зерну до 8,1 т/га и сухому веществу до 10,7 т/га, устойчив к полеганию, среднеустойчив к засухе, менее других сортов склонен к образованию подгона, формирует крупное выполненное зерно [4]. Сорта овса голозерного Вятский (в Госреестре с 2007 г.) и Першерон (в Госреестре с 2013 г.) занимают 1,2 % от этих посевов. Голозерные формы посевного овса не получили широкого распространения, так как по урожайности они уступают пленчатым генотипам из-за большей требовательности к агротехнике возделывания и условиям хранения [5], к водно-тепловому режиму выращивания, почве и чистоте полей при относительно низкой полевой всхожести [6].

Пониженная полевая всхожесть может быть связана со слабо прикрепленным эндоспермом и сильно выступающим за сферу семени зародышем, который травмируется либо выбивается при обмолоте [7]. Голозерные генотипы больше, чем пленчатые, подвержены инфицированности

пенициллами, бактериозами и возбудителями черного зародыша, что отражается на прорастании семян [8].

Семена голозерных генотипов овса уступают пленчатым по массе 1000 зерен в среднем на 8 г [7]. К недостаткам голозерных форм можно отнести также опушенность зерна и неполную вышелушиваемость его из пленок.

В 2023 г. проблема неполного освобождения зерновки от цветковой чешуи была учтена ГОСТ Р 70794–2023 [9], в котором для оригинальных и элитных семян, в пределах семян основной культуры, процент примеси невышелушенных зерен овса голозерного не должен превышать 6,0 %.

Однако зерно овса голозерного – важное сырье для пищевой промышленности, животноводства, птицеводства. Это ценный высокоэнергетический компонент стартерных комбикормов для телят и кормовых добавок для лактирующих коров, характеризующееся высокой питательностью и технологичностью [10]. Зерно овса голозерного содержит ценные аминокислоты, микроэлементы, полисахариды. Полисахариды – это функциональный ингредиент, влияющий на биологическую ценность и потребительские свойства зерна [11–13]. Зерно голозерных форм овса обладает пятнадцатью метаболитными соединениями, которые отсутствуют у пленчатых генотипов, имеет повышенное содержание некоторых важных соединений, например, фосфорную кислоту [14].

Цель исследований – изучить линии овса голозерного селекции ФАНЦ Северо-Востока по формированию пленчатых зерен в условиях Кировской области.

Задачи исследований:

1. Выявить линии с наименьшим числом пленчатых зерен.
2. Установить адаптивные линии по признаку наименьшего количества пленчатых зерен.
3. На основании результатов многофакторного дисперсионного анализа рассчитать вклад факторов «генотип», «условия года», «генотип и условия года».
4. Оценить линии с низким числом пленчатых зерен по другим селекционно ценным признакам.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На опытном поле ФАНЦ Северо-Востока в 2022–2024 гг. изучено три сорта и двенадцать линий овса голозерного питомника конкурсного испытания. Исследования проведены в со-

ответствии с методикой государственного сортоиспытания [15]. Процент пленчатых зерен в урожае определяли путем подсчета голозерных и пленчатых зерен в метелке у двадцати растений каждого генотипа, каждого повторения. Площадь делянок 15 м² (учетная площадь 10 м²), повторность 4-кратная. Пластичность и отзывчивость сортов на изменение условий среды определяли по методике S.A. Eberhart, W.A. Russell (1966) в изложении В.А. Пакудина и Л.М. Лопатиной [16], вклад генотипов и условий среды в формирование урожайности по методике Н.А. Плохинского [17]. Метеорологические условия описаны по данным Кировского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Для оценки влагообеспеченности применяли показатель гидротермический коэффициент (ГТК), который вычисляли по формуле А.И. Селянинова [18]:

$$ГТК = \Sigma r / \Sigma t * 10,$$

где Σr – сумма осадков за вегетационный период, мм; Σt – сумма активных температур за тот же период, исключая период при средней суточной температуре ниже 10 °С.

По величине ГТК определяли характер увлажнения фаз онтогенеза, который напрямую влиял на рост и развитие растений и проявление болезней овса: менее 0,4 – сильная засуха; 0,4–0,7 – засуха; 0,7–1,0 – засушливо; 1,0–1,3 – недостаточно влажно; 1,3–1,6 – достаточно влажно; более 1,6 – избыточно влажно.

Учет болезней проводили по общепринятым методикам [19]: В.И. Кривченко и др. (1977) – для оценки на устойчивость к пыльной головне, О.С. Петровой и О.С. Афанасенко (2003) – для оценки красной бурой пятнистости листьев и шкалы Петерсона (1948) – для оценки корончатой и стеблевой ржавчин.

Кировская область находится на востоке Восточно-Европейской равнины, расположена в зоне тайги. Климат умеренно континентальный, с продолжительной холодной зимой и коротким, но сравнительно теплым летом [20].

Погодные условия были благоприятны для роста и развития растений. Гидротермический коэффициент вегетационного периода овса 2022 г. составил 1,48, что характеризует его достаточно увлажненным. Посев питомника проведен 5 мая, в мае наблюдали небольшие, в отдельные дни значительные осадки. Среднесуточная температура воздуха составляла 6,0 °С, что на 6 °С ниже обычных значений. В июне и июле преобладала теплая, временами жаркая погода, периоды с частыми дождями чередовались с сухими периодами. В

результате средняя температура воздуха в июне составила 16,0 °С, что близко к климатической норме. Осадков выпало 60–85 мм, или 80–105 % нормы. В июле средняя за месяц температура воздуха была на 2 °С выше нормы при показателе 20,0 °С. Уборка питомника проведена 15 августа. Август характеризовался жаркой погодой с редкими дождями.

Гидротермический коэффициент 2023 г. составил 1,66, погодные условия в целом были благоприятными для роста и развития растений овса. Посев питомника проведен 16 апреля, среднесуточная температура месяца составила 6,8 °С, отклонение от нормы – 2,7 °С. Осадков выпало 77 % от нормы. В мае наблюдали неустойчивую по температуре погоду, с продолжительными сухими периодами. Среднесуточная температура воздуха составила 13,8 °С, выше обычных значений на 1,9 °С. Июнь характеризовался неустойчивой, от очень теплой до холодной, преимущественно сухой с небольшими осадками погодой. Среднесуточная температура воздуха составила 14,1 °С, что ниже климатической нормы на 2,3 °С. В июле наблюдали прохладную, временами жаркую погоду, с редкими обильными дождями. Среднесуточная температура воздуха 18,7 °С была ниже нормы на 0,2 °С. Осадков выпало 180 мм, или 221 % от нормы. Среднесуточная температура воздуха в августе 20,5 °С, что превысило обычную температуру августа на 2–8 °С, осадки отсутствовали. Уборка питомника проведена 6 августа.

В 2024 г. ГТК вегетационного периода овса составил 1,1. Метеорологические условия были недостаточно благоприятными для роста и развития растений. Посев питомника проведен 30 апреля в прогретую влажную почву. После теплого апреля наступил аномально холодный май при среднесуточной температуре воздуха 7,5 °С, что ниже обычных значений на 4,4 °С. Осадки часто выпадали в виде мокрого снега. Июнь характеризовался неустойчивой (от очень теплой до теплой), преимущественно сухой погодой. Среднесуточная температура воздуха в июне 18,8 °С, была выше климатической нормы на 2,4 °С. В июле отмечена неустойчивая по температуре (от жаркой до умеренно теплой), преимущественно сухая погода. Средняя температура воздуха 19,8 °С была близка к климатической норме. В августе она была выше на 1,5 °С и составила 17,4 °С при количестве осадков 15 мм, или 20 % от нормы. Уборка питомника проведена 10 августа.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая на элювии пермских глин с

небольшой мощностью перегнойного горизонта. Содержание гумуса низкое – 2,43–2,51 % (Тюрин, ГОСТ 26213–91), подвижного фосфора и калия – соответственно 334–339 мг/кг и 200–245 мг/кг почвы (Кирсанов, ГОСТ 26207–91), кислотность – 5,7 ед. рН (по Каппену, ГОСТ 26212–91).

Статистическая обработка проведена методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07) и программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Среди линий селекции ФАНЦ Северо-Востока все генотипы имели пленчатые зерна. Благоприятные условия *Ij*, когда сформировалось больше всего пленчатых зерен (19,4 %) складывались в 2023 г., при положительном индексе среды 9,4 (табл. 1). Меньшее количество пленчатых зерен (3,6 %) было в 2024 г., индекс среды составил 6,4. В 2022 г. количество пленчатых зерен в среднем составило 7,0 %, при отрицательном индексе среды 3,0.

Таблица 1

Число пленчатых зерен у линий и сортов овса
The number of grain with husk in oat lines and varieties

Линия, сорт	Число невышелушенных зерен в урожае, %			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	В среднем за годы исследований
5h18	11,2	8,7	1,1	7,0
2h18	7,1	33,4	9,8	16,8
6h18	3,8	3,7	5,4	4,3
161h14	4,0	28,7	5,3	12,7
58h21	1,6	10,1	1,1	4,3
1h18	5,3	5,3	2,9	4,5
61h21	1,9	31,3	0	11,1
64h21	4,3	2,9	3,3	3,5
72h21	4,1	0,4	0	1,5
3h18	8,7	18,5	6,4	11,2
63h11	13,6	5,6	5,1	8,1
4h18	4,4	0,5	0	1,6
Першерон	9,1	39,8	2,5	17,1
Нижегородец	20,6	63,0	8,4	30,7
Вятский	8,0	34,7	3,2	15,3
Азиль–стандарт	3,9	24,3	2,8	10,3
В среднем по генотипам	7,0	19,4	3,6	10,0
Индекс условий среды <i>Ij</i>	-3,0	9,4	-6,4	

В условиях опытного поля ФАНЦ Северо-Востока влияли гидротермические условия межфазных периодов вегетации на уровень формирования пленчатых зерен селекционных линий и сортов. В период «всходы – выметывание» отмечены засушливые условия, ГТК составил 0,7–0,9. Выявлена отрицательная зависимость (при $p \leq 0,05$) количества пленчатых зерен от средних температур в период «выход в трубку – молочная спелость» ($r = -0,54$). Отмечено, что при среднесуточной температуре воздуха от 18,6 °С в период «выход в трубку – молочная спелость» у

генотипов снижалось формирование числа пленчатых зерен (рис. 1). Отмечено, что в 2024 г. при средней суточной температуре воздуха 19,7 °С у линий 61h21 и 4h18 не образовались зерна с пленкой.

В наших исследованиях отмечена связь между суммой осадков и количеством пленчатых зерен в периоды «всходы – кушение» ($r = -0,43$) при сумме осадков 12 мм и «выход в трубку – выметывание» ($r = -0,35$) при сумме осадков 15 мм (рис. 2).



Рис. 1. Формирование пленчатого зерна в зависимости от средней температуры воздуха в период «выход в трубку – молочная спелость»

Formation of grain with husk depending on the average air temperature during the period of “stooling – milk maturity”



Рис. 2. Формирование невышелушенного зерна в зависимости от суммы осадков в значимые фазы онтогенеза
Formation of grain with husk depending on the amount of precipitation in significant phases of ontogenesis

Засушливые условия наблюдали в 2022 г. в период «выход в трубку – выметывание», уровень ГТК составил 0,69–1,02 и в 2024 г. в период «кущение – выметывание» при ГТК 0,89–1,02. Более продолжительную засуху в 2023 г. наблюдали в период «всходы – выметывание» при ГТК 0,53–0,95.

Доля фактора «условия года» была более значительной, чем фактор «генотип». Согласно результатам двухфакторного дисперсионного анализа (достоверно при $F_{\text{факт}} > F_{05}$), значимый вклад в изменчивость формирования пленчатых зерен у голозерных генотипов овса оказало

взаимодействие факторов «генотип и условия года» – 50,2 % и условия года – 42,3 %.

С использованием алгоритма подсчета адаптивных свойств линий и сортов овса установлено, что при более засушливых условиях выращивания ($bi > 1$) число пленчатых зерен увеличилось у линий 2h18, 161h14, 61h21 и сортов Першерон, Нижегородец, Вятский, Азиль (табл. 2), что снижает достоинства генотипа. Слабая реакция на изменение условий среды ($bi < 1$) выявлена у линий 5h18, 6h18, 58h21, 1h18, 64h21, 72h21, 3h18, 63h11, 4h18, что обуславливает их ценность.

Таблица 2

Параметры адаптивности линий овса голозерного по показателю
«формирование невышелушенного зерна»
Adaptivity parameters of naked oat lines according to the indicator “formation of grain with husk”

Линия, сорт	Коэф. линейной регрессии bi	Стабильность Si
5h18	0,3	43,2
2h18	1,7	36,1
6h18	-0,1	0,9
161h14	1,6	23,9
58h21	0,6	1,2
1h18	0,1	2,1
61h21	2,1	13,9
64h21	0,1	0,7
72h21	-0,1	9,7
3h18	0,8	0,1
63h11	-0,2	42,3
4h18	-0,1	11,1
Першерон	3,4	0,2
Нижегородец	2,4	1,2
Вятский	2,0	2,3
Азиль–стандарт	1,4	7,4

Стабильность признака Si определяют при различающихся почвенно-климатических условиях, этим и характеризуется Кировская область. Чем меньше квадратическое отклонение фактических показателей от теоретических, тем выше его экологическая стабильность. Стабильное формирование пленчатых зерен отмечено у пяти линий (3h18, 64h21, 6h18, 58h21, 1h18) и сортов Першерон, Нижегородец, Вятский с показателями от 0,1 до 2,3. Самыми нестабильными были три линии (2h18, 63h11, 5h18) с показателями Si от 36,1 до 43,2.

В соответствии с оценкой голозерных линий по требованиям ГОСТ Р 70794–2023 выявлены пять линий, формирующих пленчатые зерна до

6 %: 6h18, 1h18, 64h21, 72h21, 4h18. При этом стандарт Азиль в 2023 г. сформировал 24,3 % пленчатых зерен. С учетом параметров b_i и S_i^2 можно полагать, что наиболее ценными по изученному признаку с низким откликом на изменение условий выращивания и стабильно низким формированием пленчатого зерна являются линии: 6h18, 1h18, 64h21, 72h21, 4h18.

Отмеченные линии сформировали урожайность на уровне стандарта Азиль. В среднем за годы исследований три линии (6h18, 1h18, 4h18) имели прибавку урожайности от 0,45 до 0,80 т/га (табл. 3). Линии 1h18, 64h21, 4h18 обладали высокой крупностью зерна с массой 1000 зерен 29,3–30,1 г. Линия 6h18 характеризовалась высо-

кой устойчивостью к красно-бурой пятнистости листьев и пыльной головне, 1h18, 64h21 и 72h21 обладали иммунитетом к пыльной головне. Ли-

ния 64h21 проявила устойчивость к корончатой и стеблевой ржавчинам и красно-бурой пятнистости.

Таблица 3

Характеристика линий овса голозерного по селекционно ценным признакам
Characteristics of naked oat lines according to breeding and valuable signs

Линия, сорт	Урожайность (в среднем за 2022–2024 гг.)		Масса 1000 зерен (в среднем за 2022–2024 гг.)		Степень поражения, % (максимальная за 2022–2024 гг.)			Поражение пыльной головней (максимальное за 2022–2024 гг.), %
	т/га	± к ст. Азиль	г	± к ст. Азиль	красно-бурой пятнистостью	корончатой ржавчиной	стеблевой ржавчиной	
6h18	2,97±0,80	+0,45	28,3	-2,8	5,8	51,0	65,0	1,64
1h18	3,12±0,88	+0,60	29,3	-1,8	12,6	57,5	52,3	0,00
64h21	2,56±0,82	+0,04	30,1	-1,0	9,0	19,3	20,2	0,00
72h21	2,27±0,95	-0,25	27,5	-3,6	36,5	40,0	24,5	0,00
4h18	3,32±1,17	+0,80	29,0	-2,1	21,0	29,0	18,0	6,20
Азиль – стандарт	2,52±0,45		31,1		3,8	40,3	61,6	0,96
НСР _{0,5}	1,40		2,3					

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследователями отмечается, что доля пленчатых зерен варьирует под влиянием сортовых особенностей и погодных условий вегетации растений [21]. В Кемеровском НИИСХ исследователями установлено, что пленчатые зерна образуются при невысоких среднесуточных температурах воздуха и достаточном увлажнении в период «всходы–выметывание» [22], что не согласуется с нашими исследованиями. По мнению Barr et al. (1996) и Kirkkari et al. (2004), выщеплению большего числа пленчатых зерен способствуют засушливые условия в период вегетации [23, 24]. В наших исследованиях это был период «всходы – кущение». Меньшую устойчивость к абиотическому стрессу и водному режиму голозерных форм овса связывают с более низким содержанием рафинозы и свободных аминокислот по сравнению с пленчатыми формами [14]. Под действием абиотических факторов голозерные генотипы овса характеризуются череззерницей и только 2–3 из семи цветков в колоске формируют

семена. Таким образом, число зерен у голозерных и пленчатых генотипов уравнивается [7].

ВЫВОДЫ

1. На формирование пленчатых зерен у голозерных линий овса селекции ФАНЦ Северо-Востока основное влияние оказали среднесуточная температура воздуха в период «выход в трубку – молочная спелость» ($r = 0,53$), количество осадков в период «всходы–кущение» ($r = -0,43$) и «выход в трубку – выметывание» ($r = -0,35$).

2. Выявлены линии с наименьшим числом пленчатых зерен и со слабой реакцией на изменение условий среды: 6h18, 1h18, 64h21, 72h21, 4h18. Линии 1h18 и 4h18 отличились высокой урожайностью и крупностью зерна, а линии 1h18, 6h18, 64h21 и 72h21 имели высокую устойчивость к основным в нашем регионе грибным заболеваниям. Данные линии рекомендуются для продолжения изучения и подготовке к передаче на государственное сортоиспытание.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-zerna-v-rf-mesto-rossii-v-mire-perspektivy-eksportakrupneyshie-igroki> (дата обращения: 20.06.2025).
2. URL: <https://апк76.рф/?p=8242> (дата обращения: 01.06.2025).
3. Trifuntova I.B. Ecological variability of the quality of oats varieties depending on vegetation conditions // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 547. – P. 012041. – DOI: 10.1088/1755-1315/547/1/012041.

4. Баталова Г.А. Селекция овса на качество зерна в Волго-Вятском регионе // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2018. – № 3(27). – С. 81–87. – DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11038. – EDN UZFJSG.
5. URL: <https://argumenti.ru/interview/2024/09/917808> (дата обращения: 10.06.2025).
6. Чекина М.С., Меледина Т.В., Баталова Г.А. Перспективы использования овса в производстве продуктов специального назначения // Вестник Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 43. – С. 20–25.
7. Оценка сортов и линий голозерного овса по ряду хозяйственно-биологических признаков для селекции в условиях Центра Нечерноземья / Л.А. Марченкова, О.В. Павлова, Р.Ф. Чавдарь [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 2 (46). – С. 42–48. – DOI: 10.36508/RSATU.2020.44.16.006.
8. Генетическое разнообразие сортов и линий голозерного овса селекции ФИЦ «Немчиновка» / А.Д. Кабашов, А.В. Любимова, Н.М. Власенко [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 5. – С. 62–74. – DOI: 10.26897/0021-342X-2023-5-62-74. – EDN MSNOAB.
9. ГОСТ Р 70794–2023. Семена овса голозерного. Сортные и посевные качества. Технические условия. – М., 2023. – 12 с.
10. Исачкова О.А., Немзоров А.М., Логинова А.О. Перспективные сорта голозерного // Животноводство России. – 2022. – № 10. – С. 62–63. – DOI: 10.25701/ZZR.2022.09.09.008. – EDN JHLMWQ.
11. Перспективы использования сортов и линий голозерного овса для производства крупы / А.Д. Кабашов, А.С. Маркова, М.А. Кузьмич [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2021. – № 3 (39). – С. 34–40. – DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-34-40. – EDN CLMVLH.
12. Шаболкина Е.Н., Шевченко С.Н., Анисимкина Н.В. Влияние биоактивации на биохимический состав и амилалитическую активность зерна овса голозерного // Зерновое хозяйство России. – 2022. – Т. 14, № 3. – С. 31–36. – DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-31-36.
13. Безгодов А.В., Ялунина А.Д. Оценка сортов голозерного овса по продуктивности и реакции на климатические условия Среднего Урала // Интерактивная наука. – 2016. – № 10. – С. 94–101. – DOI: 10.21661/r-114765.
14. Новый подход к структурированию сортового разнообразия голозерных и пленчатых форм культурного овса (*Avena sativa* L.) / И.Г. Лоскутов, Т.В. Шеленга, А.В. Конарев [и др.] // Экологическая генетика. – 2020. – Т. 18, № 1. – С. 27–41. – DOI: 10.17816/ecogen12977. – EDN CROJHX.
15. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М., 1985. – Вып. 2, ч. 2. – 230 с.
16. Пакудин В.З., Лопатина Л.М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. – 1984. – № 4. – С. 109–113.
17. Плохинский Н.А. Биометрия. – Новосибирск, 1961. – 364 с.
18. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1928. – Вып. 20. – С. 165–177.
19. Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам: метод. пособие / Е.Е. Радченко, В.И. Кривченко, О.В. Солодухина [и др.] // Российская академия сельскохозяйственных наук, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. – М., 2008. – 416 с. – EDN QLBFSN.
20. URL: <https://www.kirovreg.ru/econom/Invest2/characteristic/location.php> (дата обращения: 01.06.2025).
21. Влияние погодных условий на выщепление пленчатых зерен у голозерного овса / И.И. Русакова, Г.А. Баталова, Е.Н. Вологжанина [и др.] // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы III междунар. науч.-практ. конф. Киров, 4–5 апреля 2017 г. – Киров, 2017. – С. 137–141. – EDN YILBBT.
22. Исачкова О.А. Выщепление пленчатых зерен и урожайность голозерного овса // Генофонд и селекция растений: тез. докл. II Междунар. конф., посвящ. 80-летию СИБНИИРС, Новосибирск, 29–31 марта 2016 г. – Новосибирск, 2016. – С. 31. – EDN ZHNSFL.
23. Barr A.R., Peiham S.D., Zwer P.K. Hulless oat – Building a commercial future // V International Oat Conference and VII International Barley Genetics Symposium. – Canada. – July 30–August 6. – 1996. – P. 97–104.
24. Kirkkari A.-M., Peltonen-Sainio P., Lehtinen P. Dehulling capacity and storability of naked oat. *Agricultural and Food Science*. – 2004. – Vol. 13, № 1. – P. 101–104.

REFERENCES

1. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-zerna-v-rf-mesto-rossii-v-mire-perspektivy-eksporta-krupneyshie-igroki>.
2. URL: <https://apk76.rf/?p=8242>.
3. Trifuntova I.B., Ecological variability of the quality of oats varieties depending on vegetation conditions, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2020, Vol. 547, pp. 012041, DOI: 10.1088/1755-1315/547/1/012041.

4. Batalova G.A., *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2018, No. 3 (27), pp. 81–87, DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11038, EDN UZFJSG. (In Russ.)
5. URL: <https://argumenti.ru/interview/2024/09/917808>.
6. Chekina M.S., Meledina T.V., Batalova G.A., *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, No. 43, pp. 20–25. (In Russ.)
7. Marchenkova L.A., Pavlova O.V., Chavdar' R.F., Markova A., Chebanenko S.I., *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*, 2020, No. 2 (46), pp. 42–48, DOI: 10.36508/RSA-TU.2020.44.16.006. (In Russ.)
8. Kabashov A.D., Lyubimova A.V., Vlasenko N.M., Kolupaeva A.S., *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2023, No. 5, pp. 62–74, DOI: 10.26897/0021-342X-2023-5-62-74. (In Russ.)
9. *GOST R 70794-2023. Semena ovsa golozernogo. Sortovye i posevnye kachestva. Tekhnicheskie usloviya*. FGBU «Institut standartizatsii», Moscow, 2023, [12 p.](#) (In Russ.)
10. Isachkova O.A., Nemzorov A.M., Loginova A.O., *Zhivotnovodstvo Rossii*, 2022, No. 10, pp. 62–63, DOI: 10.25701/ZZR.2022.09.09.008. (In Russ.)
11. Kabashov A.D., Markova A.S., Kuz'mich M.A., Vlasenko N.M., Mikhlin S.E., Kuz'mich L.S., Razumovskaya L.G., Filonenko Z.V., Leibovich Ya.G., Kondrat'eva O.P., *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2021, No. 3 (39), pp. 34–40, DOI: 24412/2309-348X-2021-3-34-40. (In Russ.)
12. Shabolkina E.N., Shevchenko S.N., Anisimkina N.V., *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2022, T. 14, No. 3, pp. 31–36, DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-31-36. (In Russ.)
13. Bezgodov A.V., Yalunina A.D., *Interaktivnaya nauka*, 2016, No. 10, pp. 94–101, DOI: 10.21661/r-114765. (In Russ.)
14. Loskutov I.G., Shelenga T.V., Konarev A.V., Vargach Yu.I., Porokhovina E.A., Blinova E.V., Gnutikov A.A., Rodionov A.V., *Ekologicheskaya genetika*, 2020, T. 18, No. 1, pp. 27–41, DOI: 10.17816/ecogen12977. (In Russ.)
15. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Moscow, 1985, Vyp. 2, Ch. 2, 230 p.
16. Pakudin V.Z., Lopatina L.M., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 1984, No. 4, pp. 109–113. (In Russ.)
17. Plokhinskii N.A., *Biometriya* (Biometrics), Novosibirsk, 1961, 364 p.
18. Selyaninov G.T., *Trudy po sel'skokhozyaistvennoi meteorologii*, 1928, Vyp. 20, pp. 165–177. (In Russ.)
19. Radchenko E.E., Krivchenko V.I., Solodukhina O.V. i dr., *Izuchenie geneticheskikh resursov zernovykh kul'tur po ustoychivosti k vrednym organizmam*, Moscow: Rossiiskaya akademiya sel'skokhozyaistvennykh nauk, 2008, 416 p. (In Russ.)
20. <https://www.kirovreg.ru/econom/Invest2/characteristic/location.php>
21. Rusakova I.I., Batalova G.A., Vologzhanina E.N., Zhuikova O.A., *Metody i tekhnologii v selektsii rasteniy i rasstnievodstve*, (Methods and technologies in plant breeding and crop production), Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference. Kirov, April 4-5, 2017, Kirov, 2017, pp. 137–141. (In Russ.)
22. Isachkova O.A., *Genofond i selektsiya rastenii* (Gene pool and plant breeding), Abstracts of the II International Conference dedicated to the 80th anniversary of SIBNIIRS), Novosibirsk, 2016, pp. 31. (In Russ.)
23. Barr A.R., Peiham S.D., Zwer P.K., Hullless oat – Building a commercial future, *V International Oat Conference and VII International Barley Genetics Symposium*, Canada, July 30-August 6, 1996, pp. 97–104.
24. Kirkkari A.-M., Peltonen-Sainio P., Lehtinen P., Dehulling capacity and storability of naked oat, *Agricultural and Food Science*, 2004, Vol. 13, No. 1, pp. 101–104.

Информация об авторах:

О.А. Жуикова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией селекции овса, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого»

Г.А. Баталова, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заведующая отделом селекции овса, заместитель директора по селекционной работе, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого»

Contribution of the authors:

O.A. Zhuikova, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Head of the Oat Breeding Laboratory, Federal State Budgetary Scientific Institution "N.V. Rudnitsky Federal Agrarian Scientific Center of the North-East"

G.A. Batalova, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Oat Breeding Department, Deputy Director for Breeding Work, Federal State Budgetary Scientific Institution "N.V. Rudnitsky Federal Agrarian Scientific Center of the North-East"

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ НА СЕМЕННЫХ ПОСЕВАХ ЖИТНЯКА ГРЕБНЕВИДНОГО В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РАЙОНА

¹В.Н. Золотарев, ²М.Г. Острикова

¹Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса, Лобня, Россия

²Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса (Воронежская опытная станция по многолетним травам - филиал), Павловск, Россия

E-mail: semvik@vniikormov.ru

Для цитирования: Золотарев В.Н., Острикова М.Г. Дифференцированное применение удобрений на семенных посевах житняка гребневидного в условиях степной зоны Центрально-Черноземного района // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 54–63. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-54-63.

Ключевые слова: житняк гребневидный, удобрения, структура травостоя, урожайность, семена.

Реферат. Для широкого хозяйственного внедрения житняка гребневидного необходимо перманентное выведение новых адаптивных сортов и разработка эффективных агротехнических приемов их возделывания применительно к определенным зональным почвенно-климатическим условиям. Одним из наиболее результативных приемов повышения урожайности семян житняка является научно обоснованная система использования минеральных удобрений, в первую очередь азотсодержащих. Цель работы – провести сравнительную оценку и выявить оптимальные сроки и нормы внесения минерального азотного удобрения на семенных посевах житняка гребневидного 1–2-го г.п. нового сорта Ненароковский в степной зоне Центрально-Черноземного района. Установлено, что на выщелоченных черноземных почвах со средней обеспеченностью подвижными формами фосфора и повышенной обменного калия использование P60K30 способствовало повышению урожайности семян на 19 % относительно контроля. На фоне P60K30 осеннее или весеннее внесение минерального азота в дозах от N30 до N90 приводило к росту урожайности семян на 27–77 %. Максимальный сбор семян 362–375 кг/га, или на 77–84 % больше, чем на контроле был получен при дробном осенне-весеннем внесении минерального азота в норме N75 (N30+45) и весеннем однократном дозе N60. При дробном применении нормы N60 (N30+30) сбор семян составил 342 кг/га, что превысило контроль на 68 %. Наряду с этим высокая урожайность 322 кг/га, или на 58 % выше, чем на контроле, была получена при однократном весеннем применении N45. Осеннее использование N45 и N60 было менее эффективным, но также обеспечило достоверную прибавку сбора семян 28 и 43 %. По изменению показателей отдельных компонентов структуры семенного травостоя 2-го г.п., величины уровня фактических сборов семян житняка гребневидного переход между дозами, нормами и сроками внесения азотных и фосфорно-калийных удобрений был статистически достоверен.

DIFFERENTIATED APPLICATION OF FERTILIZERS ON SEED CROPS OF BUCKWHEAT IN THE STEPPE ZONE OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

¹V.N. Zolotarev, ²M.G. Ostriкова

¹V.R. Williams Federal Scientific Center for Feed Production and Agroecology, Lobnya, Russia

²V.R. Williams Federal Scientific Center for Feed Production and Agroecology (Voronezh Experimental Station for Perennial herbs - branch), Pavlovsk, Russia

E-mail: semvik@vniikormov.ru

Keywords: comb-wheatgrass, fertilizers, grass stand structure, yield, seeds.

Abstract. For wide economic introduction of crested wheatgrass, it is necessary to permanently breed new adaptive varieties and develop effective agrotechnical methods of their cultivation in relation to certain zonal soil and climatic conditions. One of the most effective methods of increasing the yield of wheatgrass seeds is a scientifically based system of using mineral fertilizers, primarily nitrogen-containing ones. The purpose of the work is to conduct a comparative assessment and identify the optimal timing and rates of application of mineral nitrogen fertilizer on seed crops of comb-wheatgrass 1-2-go g.p. of the new variety Nenarokovskiy in the steppe zone of the Central Black Earth Region. It was established that on leached chernozem soils with an average supply of mobile forms of phosphorus and increased exchangeable potassium, the use of P60K30 contributed to

an increase in seed yield by 19 % relative to the control. Against the background of P60K30, autumn or spring application of mineral nitrogen in doses from N30 to N90 resulted in an increase in seed yield by 27–77 %. The maximum seed yield of 362–375 kg/ha, or 77–84% more than in the control, was obtained with fractional autumn-spring application of mineral nitrogen at the rate of N75 (N30+45) and a single spring dose of N60. With fractional application of the N60 rate (N30+30), the seed yield was 342 kg/ha, which exceeded the control by 68 %. Along with this, a high yield of 322 kg/ha, or 58 % higher than in the control, was obtained with a single spring application of N45. Autumn use of N45 and N60 was less effective, but also provided a reliable increase in seed yield of 28 and 43 %. According to the change in the indicators of individual components of the structure of the seed grass stand of the 2nd year of production, the value of the level of actual collection of comb-wheatgrass seeds, the transition between the doses, rates and timing of application of nitrogen and phosphorus-potassium fertilizers was statistically significant.

В условиях выраженной аридизации климата степной, южных и юго-восточных районов лесостепной зон повышение эффективности кормопроизводства во многом связано с увеличением спектра хозяйственного использования видов многолетних трав ксерофитного типа, которые по способности формировать высокие урожаи в условиях дефицита влагообеспеченности могут преодолевать или существенно нивелировать негативные последствия неблагоприятных изменений климата. Для районов с недостаточной влагообеспеченностью одной из наиболее перспективных культур среди многолетних мятликовых трав для возделывания на корм является житняк гребневидный (*Agropyron pectiniforme* Roem. et Schult.) [1–3]. Эта культура обладает высокой адаптационной способностью к произрастанию в аридных условиях, обеспечивая получение раннего корма высокого качества, характеризуется высокой конкурентоспособностью в травосмесях, толерантностью к пастбищному режиму использования [4–6]. Благодаря своим биологическим свойствам житняк гребневидный в зависимости от режима использования и ухода за травостоями может формировать высокую кормовую продуктивность на протяжении от 5–6 до 15–20 лет [7, 8].

Широкое хозяйственное использование житняка сдерживается недостаточным предложением на рынке его посевного материала, одной из причин которого является низкая урожайность семян. Невысокий уровень и широкая амплитуда варьирования величины сборов семян наиболее сильно выражена при переходе от зоны сухих степей к полупустыне. Урожайность семян в этих районах колеблется по годам в интервале от 20 до 140 кг/га при C_v 76 % [9]. При размещении семенных посевов житняка гребневидного и внедрении сортовых технологий в областях с более высокой влагообеспеченностью урожайность его семян может достигать 400–700 кг/га и более [10–12]. Поэтому необходимо перманентное выведение новых адаптивных сортов житняка и научная разработка оптимизированных технологий их

возделывания применительно к определенным зональным почвенно-климатическим условиям [13–15]. Производственное внедрение эффективных агротехнических приемов обеспечивает создание условий для более полной реализации потенциала продуктивности злаковых трав [16–18].

Одним из наиболее действенных приемов повышения урожайности мятликовых культур на разных типах почв является научно обоснованная система использования минеральных удобрений, в первую очередь азотсодержащих [19–21]. Максимальный агрономический эффект достигается при дифференцированном применении минеральных удобрений в зависимости от биологических особенностей культур и почвенного плодородия [20–22]. В частности, наиболее высокая урожайность семян формируется при внесении минерального азотного удобрения на фоне оптимизации фосфорно-калийного питания растений за счет их синергетического взаимодействия [22–24]. При этом у разных видов и сортов многолетних трав в качестве ответной реакции может отмечаться большой диапазон варьирования уровня их семенной продуктивности на сроки, дозы и кратность применения минеральных удобрений в зависимости от почвенно-климатических условий, биологических особенностей культур, технологии возделывания и года использования травостоя на семена [22, 25, 26]. Это требует корректировки доз внесения минеральных азотсодержащих удобрений в соответствии с показателями уровня плодородия почвы, способствующих формированию более высоких урожаев семян и умеренному росту вегетативной массы растений, предотвращающему сильное их полегание [22, 25].

Цель работы – провести сравнительную оценку и выявить оптимальные сроки и нормы внесения минерального азотного удобрения на семенных посевах житняка гребневидного 1–2-го г.п. нового сорта Ненароковский в степной зоне Центрально-Черноземного района на выщелоченном черноземе.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в условиях степной зоны юга Центрально-Черноземного района на Воронежской опытной станции по многолетним травам, расположенной в районе г. Павловска Воронежской области с новым сортом житняка гребневидного Ненароковский в 2017–2018 и 2021–2022 гг. на травостое 2–3 лет жизни.

Опытные делянки закладывались в полевом семипольном севообороте, почвы которого имеют следующую характеристику: выщелоченный, среднесуглинистый чернозем, содержащий в пахотном слое 4,3 % гумуса (по Тюрину); 7,2 мг подвижного фосфора и 12,6 мг калия на 100 г почвы (по Чирикову); $pH_{\text{сол.}}$ 6,4.

Агротехника возделывания житняка в опытах – общепринятая для региона. Фоновую дозу фосфорно-калийных удобрений из расчета $P_{60}K_{30}$ (двойной суперфосфат гранулированный с содержанием 46 % водорастворимого фосфора и калий хлористый, 60 % K_2O) применяли после проведения позднелетнего подкашивания травостоя житняка в третьей декаде августа. Азотное удобрение (аммиачная селитра, NH_4NO_3 , содержание азота 34,4 %) в соответствующих схеме опыта дозах вносили вручную разбросным методом в два срока – осенью во второй декаде сентября на посевах 1-го г.п. после их уборки на семена и весной на следующий год в фазу отрастания культуры в год получения урожая.

Учеты и наблюдения осуществляли согласно «Методическим указаниям по проведению исследований в семеноводстве многолетних трав» (ВИК, 1986). Общая площадь одной опытной делянки составляла 20 м², учетная – 10 м², повторность 4-кратная, размещение – рендомизированное. Структуру компонентов семенного травостоя определяли путем отбора снопов с площадок по 0,25 м² с каждой делянки на типичном посеве. Расчет коэффициентов корреляции (r) для определения взаимосвязи компонентов структуры урожая и статистическую обработку экспериментальных данных методом дисперсионного анализа проводили на ПЭВМ с использованием группы пакета приложений Microsoft Office Word 2007 с помощью Excel 2000, программы Statistica 5.5.

По данным стандартных агрометеорологических наблюдений Павловской метеостанции Воронежской области, погодные условия вегетационного сезона 2017 г. характеризовались дефицитом осадков по всем месяцам в период апрель–август, который составлял от 8,4 % от

нормы в августе до 79,4 % в апреле на фоне повышенного температурного режима, соответственно на +4,2...+2,6 °С. Однако в I–II декады сентября выпало 318 и 107 % осадков от нормы при превышении термического режима на +2,2...+7,2 °С. То есть осенью сложились благоприятные условия для действия удобрений и развития растений житняка (осеннего побегообразования). В 2018 г. период с апреля по июнь, т. е. от начала вегетации до уборки семян погодные условия отличались дефицитом влаги – количество выпавших осадков по этим месяцам составляло 63 % от нормы в апреле, 24,5% – в мае и 30,6 % – в июне. При этом температура воздуха в эти месяцы превышала среднемноголетние значения на +3,7; +6,4 и 3,7 °С соответственно.

Вегетационный сезон 2021 г. по сравнению со среднемноголетними значениями характеризовался повышенным температурным фоном во все месяцы, от +0,5 °С в сентябре до +2,9...+5,7 °С в мае–августе. При этом в мае–июне выпало соответственно 112 и 113 % осадков по сравнению с нормой. В сентябре этот показатель составил 142,2 %. В 2022 г. температурный режим в апреле–июне характеризовался разнонаправленной динамикой: превышением на +5,0 °С и на +2,0 °С нормы в апреле и июне, снижением на -2,8 °С – в мае. При этом в апреле и мае выпало 115,0 и 109,0 % осадков по сравнению со среднемноголетним количеством, а в июне – 86,4 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Многолетние злаковые травы при соблюдении рекомендованных технологий возделывания максимальную семенную продуктивность в основном формируют в первый год пользования. Начиная с третьего-четвертого года жизни, как правило, начинается снижение величины урожайности семян, что обусловлено снижением растениями способности к образованию хорошо развитых органов репродуктивной сферы, т. е. частичным исчерпанием биологического ресурса семенного размножения. Сохранение и реализация продукционного потенциала семенной продуктивности житняка 2-го г.п. во многом определяются условиями его вегетации после уборки травостоя 1-го г.п. на семена и обусловленного этим состоянием растений перед уходом в зиму в предыдущий год. Связано это с тем, что житняк гребневидный имеет озимый тип развития, в связи с чем в репродуктивную фазу жизнедеятельности у него переходят только укороченные

Влияние доз и сроков внесения удобрений на формирование структуры травостоя и урожайность семян житняка гребневидного сорта Ненароковский 2-го г.л. (в среднем по двум закладкам опыта)
The influence of doses and timing of fertilizer application on the formation of the grass stand structure and the seed yield of crested wheatgrass of the Nenarokovskiy 2nd year of production (average for two experimental runs)

Доза удобрений, срок внесения	Кол-во укороченных вегетативных побегов, шт./м ²		Гибель побегов в период перези- мовки, %	Кол-во генера- тивных побегов, шт./м ²	Длина генера- тивных побегов, см	Степень полега- ния травос- тоя, %	Длина соце- тий, мм	Кол-во колосков в колосе, шт.	Масса семян со 100 соцве- тий, г	Масса 1000 семян, г	Урожай- ность семян, кг/га
	перед уходом в зиму	после перези- мовки									
Контроль	532	388	27	198	98,2	20	56,8	30	14,0	3,02	204
Р ₆₀ К ₃₀ – фон	627	505	20	226	101,4	22	58,7	33	17,4	3,16	243
фон +N30 осень	673	548	18	256	105,5	24	62,0	32	19,6	3,22	259
фон +N45 осень	667	539	19	276	106,4	25	62,7	37	21,4	3,28	262
фон +N60 осень	682	537	21	297	108,2	28	65,2	36	22,7	3,34	292
фон +N30 весна	632	512	19	291	108,2	27	63,4	38	23,6	3,39	298
фон +N45 весна	623	506	19	320	114,6	32	65,5	40	25,2	3,46	322
фон +N60 весна	636	508	20	313	116,8	34	69,0	37	27,5	3,65	362
фон +N90 весна	629	512	18	292	120,8	40	71,1	36	26,6	3,56	308
фон +N30 ос.+N30вес.	673	540	20	302	120,4	36	72,3	36	28,1	3,42	342
фон +N30 ос.+N45вес.	681	546	20	322	119,9	37	77,2	38	29,4	3,60	375
НСР ₀₅	43,2	37,8	1,8	25,6	4,12	2,1	3,04	1,9	2,18	0,16	21,2

вегетативные побеги осеннего периода кущения после прохождения ими яровизации. Результаты исследований свидетельствуют, что позднелетнее внесение Р60К30 стимулировало осеннее кущение растений, перед уходом в зиму количество укороченных вегетативных побегов в травостое увеличилось на 18 % по сравнению с контролем (таблица). При этом их сохранность в период перезимовки составила 80 % против 73 % на контроле. Раннеосеннее внесение минерального азота в дозах N30-60 на фоне Р60К30 способствовало дополнительному росту числа побегов на 7–9 %, что суммарно на 26–28 % было больше, чем на контроле. В целом наряду с улучшением осеннего кущения применение NPK удобрений после уборки травостоя 1-го г.п. на семена способствовало достоверно лучшей сохранности побегов житняка в период перезимовки – в зависимости от дозы минерального азота их гибель за это время была на 6–9 % меньше, чем на контроле.

На фоне позднелетнего внесения Р60К30 общее количество сохранившихся в период перезимовки побегов превышало на 30 % контроль (таблица). Дополнительное раннеосеннее применение N30-60 приводило к увеличению этого показателя весной по отношению к контролю до 38–41 %. Исследования показали, что на неудобренном фоне из перезимовавших побегов 51 % перешли в генеративную фазу развития, на фоне Р60К30 – 45 % при одновременном увеличении общего количества на 30 % относительно контроля. В травостоях с однократным внесением азота от N30 до N90 весной 57–63 % побегов формировали соцветия, при осеннем сроке от 47 до 55 % и при дробном осенне-весеннем применении азота 56–59 % от общего числа перезимовавших побегов приобрели репродуктивный статус.

Анализ структуры семенного травостоя показал, что внесение минеральных удобрений способствовало существенному увеличению количества генеративных побегов житняка 2-го г.п. на 14–62 % относительно контроля (см. таблицу). Дозы внесенных азотных удобрений положительно сопряжены с количеством фертильных побегов на единице площади, $r = 0,759$. Наиболее высокий уровень плотности репродуктивных стеблей в одном интервале достоверности 297–322 шт./м² относительно остальных доз удобрений отмечался при внесении N60 осенью, N45 и N60 – весной, а также дробном осенне-весеннем использовании норм N60 (30+30) и N75 (30+45). При этом, наряду с генеративными, в травостое происходило

нарастание вегетативной массы вегетативных побегов при увеличении их количества на 23 %.

Дополнительное поступление основных элементов питания из удобрений способствовало более интенсивному росту растений и увеличению длины репродуктивных стеблей, более выражено на 17–23 %, при однократном весеннем внесении N45-90, а также N45 на фоне осеннего применения N30 (см. таблицу). Вследствие этого отмечалось усиление полегания травостоя с 20 до 37–40 % при дробной норме N75 и дозе N90.

Показателями верификации поступательно-го улучшения показателей основных элементов структуры травостоя под действием возрастающих доз удобрений, которые суммарно определяют величину формирующегося урожая семян, наряду с количеством генеративных побегов на единице площади, являются степень развития соцветий и их обсемененность. Выраженное положительное влияние азотного удобрения на процесс развития соцветий житняка в более широком интервале изучаемых доз наблюдалось начиная с N45. Максимальная длина колосьев житняка в интервале от 69,0 до 77,2 мм, или на 21–36 % больше, чем на контроле, регистрировалась при весеннем или дробном осенне-весеннем внесении соответственно доз N60 и N90 или норм N60 и N75 (см. таблицу). Как следствие роста биометрических показателей соцветий при всех сроках и способах применения минерального азота отмечалось увеличение количества колосков в колосе в диапазоне от 20 до 33 %. Вместе с тем наиболее высокий уровень их обсемененности был зафиксирован только при дозах N45-90 при весеннем сроке применения или нормах N60 и N75 при дробном внесении (30+30 и 30+45) – масса семян на одно соцветие превышала контроль на 80–110 %.

Следует отметить, что значения массы 1000 семян, отражающие уровень обеспеченности пластическими веществами в период их налива, были в целом на 12–21 % выше относительно контроля только при весенних сроках применения минерального азота. Связано это с тем, что азот удобрений при внесении в необходимом количестве в большей мере используется растениями непосредственно на образование семян, чем вегетативных органов. В зависимости от типа почв и биологических особенностей культур на обеспечение процесса семяобразования направляется от 68 до 84 % азота из удобрений от его общего потребления растениями в этот период [27].

В результате сочетания комплекса отдельных компонентов структуры травостоя в разном соотношении в зависимости от вида и дозы удобрений рост величины биологической урожайности житняка составил: от 22 % на фоне Р60К30 до 49–137 % при дополнительном внесении азотного удобрения. Наиболее высокая биологическая урожайность семян в диапазоне от 52,0 до 58,0 г/м² против 24,5 г/м² на контроле формировалась при весеннем однократном применении азотного удобрения в дозах N45-90 или осенне-весеннем дробном внесении в нормах N60 и N75. При этом величина биологической урожайности находится в тесной зависимости от количества генеративных побегов, $r = 0,969$, и массой семян в соцветиях, $r = 0,982$. Как следствие этого установлена прямая взаимосвязь доз внесения азотного удобрения в границах изучаемого интервала с биологической, $r = 0,824$, а также фактической урожайностью, $r = 0,748$.

Использование минеральных туков – только Р60К30, а также на этом фоне дополнительно азотного удобрения при всех сроках и дозах его внесения приводило к росту урожайности житняка на 19–84 %. Максимальный сбор семян 342–375 кг/га, или на 68–84 % больше, чем на контроле, был получен при дробном осенне-весеннем внесении азота в нормах N75 (N30+45), N60 (N30+30) и весеннем однократном дозе N60. Наряду с этим высокая урожайность 322 кг/га, что на 58 % выше, чем на контроле, была получена при однократном весеннем применении N45. Осеннее использование N45 и N60 является менее эффективным, но также обеспечило достоверную прибавку сбора семян соответственно на 28 и 43 %.

Сравнительная оценка эффективности внесения азота в одной норме N60 в разные сроки показала, что на семенных посевах житняка наиболее результативным является весеннее или дробное осенне-весеннее применение минерального азотного удобрения. При этом биологическая урожайность и фактические сборы семян соответственно на 18 % и 17–24 %, превышали осенний срок однократного использования N60.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследований свидетельствуют, что житняк гребневидный является высокоадаптированной культурой для аридных условий степной зоны юга Центрально-Черноземного района. Это подтверждается данными по урожайности семян при использовании минеральных удобрений.

На основании полученного экспериментального материала представлен всесторонний анализ влияния минеральных удобрений в зависимости от их доз и сроков применения на формирование структуры семенного травостоя и урожайность семян житняка гребневидного при его возделывании в аридных условиях на выщелоченном, среднемощном, среднесуглинистом черноземе со средним содержанием подвижных форм фосфора и повышенным – обменного калия. Изучение характера влияния основных элементов питания на развитие житняка позволило выявить наиболее выраженное проявление эффекта улучшения основных параметров структуры посевов при использовании азотного удобрения. Ключевым аспектом этого исследования является возможность получения прибавки урожая от применения минеральных удобрений. При этом выявлена динамика изменения величины сборов семян в зависимости от доз и сроков внесения азотного удобрения. На основании изучения значимости показателей слагаемых урожайности установление мультиколлинеарности между количественными показателями отдельных компонентов структуры семенного травостоя и величиной семенной продуктивности отражает влияние видов и норм внесения минеральных удобрений на процесс формирования урожая. Коэффициенты корреляции взаимосвязи между дозой азотного удобрения и размером соцветия, $r = 0,867$, длиной колоса и количеством колосков в нем, $r = 0,548$, а также числом колосков и массой семян на соцветие, $r = 0,758$, указывают на определяющее влияние доз внесения азотного удобрения в исследуемом интервале от 30 до 90 кг/га д.в. на формирование основных компонентов структуры семенного травостоя, их качественные значения для величины урожайности.

Выявлена тесная взаимосвязь фактических сборов семян от величины сформировавшейся биологической урожайности, $r = 0,950$ при внесении различных доз азотного удобрения. Вместе с тем величина фактического сбора выращенного урожая, наряду с количеством генеративных побегов и обсемененностью соцветий, определяется состоянием травостоя перед уборкой, в частности степенью его полегания и загущенностью вегетативными стеблями, дружностью созревания соцветий, выполненностью семян. Так, при увеличении дозы внесения минерального азота до N90 вследствие избыточного для процесса семяобразования азотного питания приводило к снижению биологической урожайности на 7 % по сравнению

с N60. Связано это с тем, что при повышенных для сбалансированного развития репродуктивной сферы доз азота система донорно-акцепторных отношений житняка направляет дополнительный поток синтезируемых пластических веществ и минеральных элементов на образование и приоритетное обеспечение ростовых процессов уже вегетативных органов растений. В результате опережающих темпов роста вегетативной массы и большего полегания травостоя фактический сбор семян снизился на 15 % по сравнению с дозой N60. Кроме того, вследствие ухудшения условий обмолота полнота сбора сформировавшегося урожая при дозе N60 составила 66 %, а при N90 уменьшилась до 61 %.

Следует отметить, что на травостоях многолетних злаковых трав внесение повышенных доз минерального азота сверх оптимального, наряду с негативным биологическим влиянием на процесс семяобразования и экономическим фактором, может приводить к загрязнению окружающей среды нитратами [28].

Полученные результаты подтверждают важную роль антропогенных факторов технологического характера в формировании структуры семенного травостоя и демонстрируют потенциал использования минеральных удобрений, в первую очередь азотных, для получения высоких урожаев семян житняка. На черноземных почвах степной зоны юга Центрально-Черноземного района именно наличие достаточного уровня обеспеченности растений житняка основными элементами питания, в первую очередь азотного, определяемого дозой и сроком внесения минерального удобрения, сделало его наиболее важным ресурсом и сильным предиктором величины урожайности семян житняка. Так, при весеннем сроке внесения азотных туков в интервале эффективных доз от 30 до 60 кг уравнение регрессии, описывающее рост урожайности семян житняка в зависимости от дозы удобрения, имеет вид: $Y = 2,60X + 208,69$.

ВЫВОДЫ

1. В аридных условиях степной зоны юга Центрально-Черноземного района на выщелоченных черноземных почвах со средней обе-

спеченностью подвижными формами фосфора и повышенной – обменного калия минеральные удобрения являются эффективным агроприемом, способствующим существенному повышению семенной продуктивности житняка гребневидного 2-го г.п. сорта Ненароковский. По градации показателей элементов структуры семенного травостоя 2-го г.п., уровня биологической урожайности и величины фактических сборов семян житняка гребневидного переход между эффективными дозами, нормами и сроками внесения азотных и фосфорно-калийных удобрений был статистически достоверен.

2. Использование P60K30 способствовало повышению урожайности семян на 19 % относительно контроля. На фоне P60K30 осеннее или весеннее внесение азота в дозах от N30 до N90 приводило к росту урожайности семян в диапазоне от 27 до 77 %.

3. Максимальный фактический сбор семян 362–375 кг/га, или на 77–84 % больше, чем на контроле, был получен на фоне P60K30 при дробном осенне-весеннем внесении азотного удобрения в норме N75 (N30+45) или весеннем однократном дозе N60.

4. Наряду с наиболее эффективными нормами дробное осенне-весеннее применение N60 (N30+30) или однократное весеннее дозы N45 на фоне P60K30 также обеспечили получение высокой урожайности семян, 322 и 342 кг/га соответственно, что на 58 и 68 % больше, чем на контроле.

5. Осеннее использование доз N45 и N60 на фоне P60K30 является менее эффективным по сравнению с весенним сроком или дробной схемой, но тоже обеспечило достоверную прибавку сбора семян 28 и 43 %.

6. Выбор схемы и доз внесения азотных удобрений в производственных условиях целесообразно определять дифференцированно, исходя из оценки состояния развития травостоя житняка и уровня плодородия почвы, а также финансовых возможностей и экономической ситуации на рынке с учетом складывающихся цен на минеральные туки в зависимости от их сезонной конъюнктуры, а также конкретных организационно-хозяйственных условий и логистики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бедило Н.А. Определение высокопродуктивных бобовых и злаковых трав в засушливом климате юга России // Сборник научных трудов КНЦЗВ. – 2023. – Т. 12, № 1. – С. 46–49. – DOI: 10.48612/sbornik-2023-1-11.

2. Дударев Д.П., Тарасенко Б.А., Изотов А.М. Экологическое испытание многолетних злаковых трав степного экотипа в условиях присивашской степи Крыма // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2020. – № 23 (186). – С. 62–70.
3. Байкалова Л.П., Панов А.К. Реализация адаптивного потенциала семенной продуктивности житняка гребневидного в Красноярском крае // Научно-практический журнал «Вестник ИРГСХА». – 2023. – № 6 (119). – С. 14–25. – DOI: 10.51215/1999-3765-2023-119-14-25.
4. Diversity array technology (DArT) 56K analysis, confirmed by SNP markers, distinguishes one crested wheatgrass *Agropyron* species from two others found in Kazakhstan / T. Absattar, A. Absattarova, N. Fillipova [et al.] // Molecular breeding. – 2018. – Vol. 38, № 4. – P. 1–11. – DOI: org/10.1007/s11032-018-0792-3.
5. Advancing crested wheatgrass [*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.] breeding through genotyping-by-sequencing and genomic selection / K. Baral, B. Coulman, B. Biligetu, Y.B. Fu // Plos one. – 2020. – Vol. 15, № 10. – P. e0239609. – DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239609> (дата обращения: 04.11.2024).
6. Forage quality of *Astragalus cyclophyllon* G. Beek and *Hedysarum criniferum* Boiss in Chadegan region of Isfahan / A. Shahbazi, H. Matin Khah, H. Bashari, M. Tarkesh Esfahani // Iranian Journal of Range and Desert Research. – 2017. – Vol. 23, № 4. – P. 823–823. – DOI: <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.109515>.
7. Гамидов И.Р., Умаханов М.А., Теймуров С.А. Кормовая ценность житняка гребневидного (*Agropyron pectiniforme*) в условиях аридной зоны Дагестана // Горное сельское хозяйство. – 2018. – № 3. – С. 58–60. – DOI: 10.25691/GSH.2018.3.012.
8. Деревянникова М.В. Изучение коллекции житняка гребневидного (*Agropyron pectiniforme*) по зимостойкости и энергии весеннего отрастания травостоя в условиях Ставропольского края // Сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 5 (13). – С. 30–36. – DOI: 10.25930/2687-1254/005.5.13.2020.
9. Золотарев В.Н., Переправо Н.И. Состояние травосеяния и перспективы развития семеноводства многолетних трав в России и Нижневолжском регионе // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 1 (41). – С. 93–101.
10. Нузаева А.А., Биктимиров Р.А. Влияние сроков посева на семенную продуктивность житняка ширококолосого // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2018. – № 3–6. – С. 64–66. – DOI: 10.31040/2222-8349-2018-6-3-64-66.
11. Деревянникова М.В., Чумакова В.В., Чумаков В.Ф. Оценка дикорастущих форм житняка гребневидного при использовании в селекции // Таврический вестник аграрной науки. – 2020. – № 4 (24). – С. 42–48. – DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-42-48.
12. Zahedi S., Ghasriani F., Bayat M. Evaluation of populations of *Elymus libanoticus* accessions in different ecological zones of Kurdistan province // Iranian Journal of Range and Desert Research. – 2020. – Vol. 27, № 4. – P. 712–721. – DOI: 10.22092/ijrdr.2020.123145.
13. Tandoh S., Coulman B., Biligetu B. Assessment of crested wheatgrass (*Agropyron cristatum* L.) accessions with different geographical origins for agronomic and phenotypic traits and nutritive value // Euphytica. – 2019. – Vol. 215. – P. 1–21. – DOI: 10.1007/s10681-019-2476-4.
14. Robins J.G., Jensen K.B. Breeding of the crested wheatgrass complex (*Agropyron* spp.) for North American temperate rangeland agriculture and conservation // Agronomy. – 2020. – Vol. 10, № 8. – P. 1134. – DOI: 10.3390/agronomy10081134.
15. Screening different crested wheatgrass (*Agropyron cristatum* (L.) Gaertner.) accessions for drought stress tolerance / H. Bayat, H. Nemati, A. Tehranifar, A. Gazanchian // Archives of Agronomy and Soil Science. – 2016. – Vol. 62, № 6. – С. 769–780. – DOI: 10.1080/03650340.2015.1094182.
16. Касаткина Н.И., Нелюбина Ж.С. Продуктивность и питательная ценность многолетних злаковых трав в Среднем Предуралье // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2024. – № 25 (2). – С. 227–235. – DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.2.227-235.
17. Ивина И.П., Дронова Т.Н. Технология возделывания овсяницы тростниковидной на семена и зелёный корм в условиях Волго-Донского междуречья // Орошаемое земледелие. – 2022. – № 4 (39). – С. 41–44. – DOI: 10.35809/2618-8279-2022-4-3.
18. Ünal S., Mutlu Z., Efe B. Assessment of crested wheatgrass (*Agropyron cristatum* L. Gaertn.) populations for the agromorphological and the quality traits under semiarid condition // Romanian Agricultural Research. – 2023. – № 40. – P. 225–238. – DOI: org/10.59665/rar4022.
19. Альберт М.А., Галеев Р.Р., Ковалев Е.А. Совершенствование технологии дифференцированного внесения удобрений в лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 2 (63). – С. 4–10. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-4-10.
20. Эффективность дифференцированного применения азотных удобрений в качестве корневых подкормок на основе NDVI / О.А. Щуклина, Р.А. Афанасьев, Н.Н. Лангаева [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 8. – С. 20–24. – DOI: 10.53859/02352451_2021_35_8_20.

21. Сутягин В.П., Тюлин В.А. Дифференцированное удобрение мятликовых культур // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 6–3. – С. 526–532.
22. Шатский И.М., Золотарев В.Н., Пономаренко А.В. Влияние применения минеральных удобрений на урожайность семян костреца безостого в условиях степной зоны Центрально-Черноземного региона // Кормопроизводство. – 2015. – № 10. – С. 18–23.
23. Галеева Л.П. Азотный режим черноземов выщелоченных Новосибирского Приобья при внесении минеральных удобрений в зерновом севообороте // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 3 (56). – С. 18–28. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-56-3-18-28.
24. Лукин С.В., Иноземцева Л.И. Калийный режим черноземов и эффективность калийных удобрений // Агрохимический вестник. – 2014. – № 1. – С. 8–11.
25. Кишикаткина А.Н., Аленин П.Г., Кишикаткин С.А. Эффективность применения макро- и микроудобрений при возделывании костреца безостого на семена в условиях Среднего Поволжья // Нива Поволжья. – 2016. – № 3 (40). – С. 31–39.
26. Dashti M., Jafari A.A. Evaluation of forage yield and quality of accessions of two rangeland species *Elymus hispidus* and *Agropyron cristatum* under irrigation conditions in Khorssan Razavi province // Iranian Journal of Range and Desert Research. – 2021. – Vol. 28, № 3. – P. 493–506. – DOI: <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2021.125021>.
27. Цыбулько Н.Н. Вклад азота почвы и удобрений в формирование урожая сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2 (61). – С. 43–54.
28. Еряшев А.П., Гурьянов А.М. Влияние ускоренного Perezaluzheniya пойменного луга на водный и пищевой режимы, продуктивность многолетних трав // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 1 (65). – С. 16–23. – DOI: 10.18286/1816-4501-2024-1-16-23.

REFERENCES

1. Bedilo N.A., *Collection of Scientific Papers of KRCAHVM*, 2023, Vol. 12, No. 1, pp. 46–49, DOI: 10.48612/sbornik-2023-1-11. (In Russ.)
2. Dudarev D.P., Tarasenko B.A., Izotov A.M., *Transactions of Taurida agricultural science*, 2020, No. 23 (186), pp. 62–70. (In Russ.)
3. Baikalova L.P., Panov A.K. *Scientific and practical journal "Vestnik IrGSHA"*, 2023, No. 6 (119), pp. 14–25, DOI: 10.51215/1999 - 3765-2023-119-14-25. (In Russ.)
4. Absattar T., Absattarova A., Fillipova N. et al., Diversity array technology (DArT) 56K analysis, confirmed by SNP markers, distinguishes one crested wheatgrass *Agropyron* species from two others found in Kazakhstan, *Molecular breeding*, 2018, Vol. 38, No. 4, pp. 1–11, DOI: [org/10.1007/s11032-018-0792-3](https://doi.org/10.1007/s11032-018-0792-3).
5. Baral K., Coulman B., Biligetu B., Fu Y.B., Advancing crested wheatgrass [*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.] breeding through genotyping-by-sequencing and genomic selection, *Plos one*, 2020, Vol. 15, No. 10, pp. e0239609, DOI: 10.1371/journal.pone.0239609 (Accessed date: 04.11.2024).
6. Shahbazi A., Matin Khah H., Bashari H., Tarkesh Esfahani M., Forage quality of *Astragalus cyclophyllon* G. Beek and *Hedysarum criniferum* Boiss in Chadegan region of Isfahan, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 2017, Vol. 23, No. 4, pp. 823–823, DOI: <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.109515>.
7. Gamidov I.R., Umakhanov M.A., Teymurov S.A., *Mountain agriculture*, 2018, No. 3, pp. 58–60, DOI: 10.25691/GSH.2018.3.012. (In Russ.)
8. Derevyannikova M.V., *Agricultural Journal*, 2020, No. 5 (13), pp. 30–36, DOI: 10.25930/2687-1254/005.5.13.2020. (In Russ.)
9. Zolotarev V.N., Perepravo N.I., *Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*, 2016, No. 1 (41), pp. 93–101. (In Russ.)
10. Nizaeva A.A., Biktimirov R.A., *Proceedings of the UFRC RAS*, 2018, No. 3–6, pp. 64–66, DOI: 10.31040/2222-8349-2018-6-3-64-66. (In Russ.)
11. Derevyannikova M.V., Chumakova V.V., Chumakov V.F., *Taurida herald of the agrarian sciences*, 2020, No. 4 (24), pp. 42–48, DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-42-48. (In Russ.)
12. Zahedi S., Ghasriani F., Bayat M., Evaluation of populations of *Elymus libanoticus* accessions in different ecological zones of Kurdistan province, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 2020, Vol. 27, No. 4, pp. 712–721, DOI: 10.22092/ijrdr.2020.123145.
13. Tandoh S., Coulman B., Biligetu B., Assessment of crested wheatgrass (*Agropyron cristatum* L.) accessions with different geographical origins for agronomic and phenotypic traits and nutritive value, *Euphytica*, 2019, Vol. 215, pp. 1–21, DOI: 10.1007/s10681-019-2476-4.
14. Robins J.G., Jensen K.B., Breeding of the crested wheatgrass complex (*Agropyron* spp.) for North American temperate rangeland agriculture and conservation, *Agronomy*, 2020, Vol. 10, No. 8, pp. 1134, DOI: 10.3390/agronomy10081134. (Accessed date: 04.11.2024).

15. Bayat H., Nemati H., Tehranifar A., Gazanchian A., Screening different crested wheatgrass (*Agropyron cristatum* (L.) Gaertner.) accessions for drought stress tolerance, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2016, Vol. 62, No. 6, pp. 769–780, DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1094182>.
16. Kasatkina N.I., Nelyubina Zh.S., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2024, No. 25 (2), pp. 227–235, DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.227-235>. (In Russ.)
17. Ivina I.P., Dronova T.N., *Irrigated Agriculture*, 2022, No. 4 (39), pp. 41–44, DOI: 10.35809/2618-8279-2022-4-3. (In Russ.)
18. Ünal S., Mutlu Z., Efe B., Assessment of crested wheatgrass (*Agropyron cristatum* L. Gaertn.) populations for the agro-morphological and the quality traits under semiarid condition, *Romanian Agricultural Research*, 2023, No. 40, pp. 225–238, DOI: [org/10.59665/rar4022](https://doi.org/10.59665/rar4022).
19. Albert M.A., Galeev R.R., Kovalev E.A., *Vestnik NGAU (Novosibirsk state agrarian University)*, 2022, No. 2 (63), pp. 4–10, DOI: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-4-10. (In Russ.)
20. Shchuklina O.A., Afanasiev R.A., Langaeva N.N. et al., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2021, Vol. 35, No. 8, pp. 20–24, DOI: 10.53859/02352451_2021_35_8_20. (In Russ.)
21. Sutyagin V.P., Tyulin V.A., *International journal of applied and fundamental research*, 2016, No. 6–3, pp. 526–532. (In Russ.)
22. Shatskiy I.M., Zolotarev V.N., Ponomarenko A.V., *Fodder Journal*, 2015, No. 10, pp. 18–23. (In Russ.)
23. Galeeva L.P., *Vestnik NGAU (Novosibirsk state agrarian University)*, 2020, No. 3 (56), pp. 18–28, DOI: 10.31677/2072-6724-2020-56-3-18-28. (In Russ.)
24. Lukin S.V., Inozemtseva L.I., *Agrochemical Herald*, 2014, No. 1, pp. 8–11. (In Russ.)
25. Kshnikatkina A.N., Alenin P.G., Kshnikatkin S.A., *Niva Povolzhya*, 2016, No. 3 (40), pp. 31–39. (In Russ.)
26. Dashti M., Jafari A.A., Evaluation of forage yield and quality of accessions of two rangeland species *Elymus hispidus* and *Agropyron cristatum* under irrigation conditions in Khorssan Razavi province, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 2021, Vol. 28, No. 3, pp. 493–506, DOI: 10.22092/ijrdr.2021.125021.
27. Tsybulko N.N., *Soil Science and Agrochemistry*, 2018, No. 2 (61), pp. 43–54. (In Russ.)
28. Eryashev A.P., Guryanov A.M., *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*, 2024, No. 1 (65), pp. 16–23, DOI: 10.18286/1816-4501-2024-1-16-23.

Информация об авторах:

В.Н. Золотарев, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

М.Г. Острикова, младший научный сотрудник

Contribution of the authors:

V.N. Zolotarev, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

M.G. Ostrikova, Junior researcher

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

РЕАЛИЗАЦИЯ БИОРЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА БАЗИЛИКА ОБЫКНОВЕННОГО, *OCIMUM BASILICUM* L. СОРТА СТЕЛЛА В УСЛОВИЯХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ФЕРМ МЕТОДАМИ АГРОБИОФОТОНИКИ

Л.А. Осинцева, А.О. Федосенко, В.Л. Петухов, А.И. Жёлтиков, В.Г. Маренков

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: lao08@mail.ru

Для цитирования: Реализация биоресурсного потенциала базилика обыкновенного, *Ocimum basilicum* L. сорта Стелла в условиях вертикальных ферм методами агробιοφотоники / Л.А. Осинцева, А.О. Федосенко, В.Л. Петухов, А.И. Жёлтиков, В.Г. Маренков // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 64–76. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-64-76.

Ключевые слова: базилик, морфогенез, эфирные масла, светодиоды, вертикальная ферма.

Реферат. Растения реагируют на спектральное соотношение интенсивности фотонных потоков, и это позволяет влиять на биомассу, морфогенез, содержание питательных веществ и вторичных метаболитов. Видовые и сортовые особенности растений, а также способы их культивирования определяют требования к типу освещения, и его выбор можно сделать экспериментальным путем. Цель работы: оценить влияние спектрального состава освещения коммерческих вертикальных ферм светодиодами Miniferneer 1.3 Quantum board 180 x 390 Samsung lm301b 3500K+660nm Osram SSL + UV380+FR740 +IR850 на морфогенез, накопление биомассы и эфирного масла базилика обыкновенного, *Ocimum basilicum* L. сорта Стелла. Спектральный состав изученного освещения отличается большей долей красной (600–700 нм) и дальней красной (700–800 нм) частей спектра, но с меньшим количеством зеленого (500–600 нм) света (172,96 и 155,19; 25,06 и 16,19; 117,92 и 139,01 $\mu\text{моль/м}^2\cdot\text{с}$ для варианта и контроля соответственно), присутствует ультрафиолет (380 нм) и инфракрасное излучение (850 нм). Соотношение красного к дальнему красному составляет 6,90 и 9,59 в варианте и контроле соответственно. Интенсивность освещения не оказала влияния на сырую массу растений: $30,7\pm 4,2$ и $31,0\pm 3,7$ г ($150\text{--}200 \mu\text{моль/м}^2\cdot\text{с}$), и $27,7\pm 1,5$ и $27,7\pm 1,5$ г ($>300 \mu\text{моль/м}^2\cdot\text{с}$) в варианте и контроле соответственно. Изменение спектра освещения привело к увеличению средней высоты растений на 14-, 20-, 22-й и 28-й день после посева. На момент срезки (37 дн.) увеличилась доля растений с 3-, 4-, 5- и 6-й парами листьев, с боковыми побегами и наступлением фазы бутонизации. Возросла сухая масса урожая с 3,43 до 5,17 %, повысился выход эфирного масла в 1,7 раза (с 3,81 до 4,03 мг/кг). По компонентному составу эфирного масла сорт Стелла может быть отнесен к линалоолово-эвгенольному хемотипу. Реализация биологического потенциала базилика обыкновенного сорта Стелла путем применения ламп с большей долей красного и дальнего красного спектра по сравнению с применяемыми на коммерческих вертикальных фермах лампами с присутствием ультрафиолета и инфракрасного излучения ускоряет прохождение фаз вегетативной стадии, способствует увеличению выхода сухой массы растений, что обеспечивает рост количества получаемого эфирного масла с повышенным содержанием линалоола, эвгенола и 1,8-цинеола.

REALIZATION OF THE BIORESOURCE POTENTIAL OF COMMON BASIL, *OCIMUM BASILICUM* L. STELLA VARIETIES IN VERTICAL FARMS BY AGROBIOPHOTONICS METHODS

L.A. Osintseva, A.O. Fedosenko, V.L. Petukhov, A.I. Zheltikov, V.G. Marenkov

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: lao08@mail.ru

Keywords: basil, morphogenesis, essential oils, LEDs, vertical farm.

Abstract. Plants respond to the spectral ratio of the intensity of photon fluxes and this allows them to influence biomass, morphogenesis, the content of nutrients and secondary metabolites. The specific and varietal characteristics of plants, as well as the methods of their cultivation, determine the requirements for the type of lighting, and its choice can be made experimentally. Objective: to evaluate the effect of the spectral composition of lighting commercial vertical farms with LEDs Miniferneer 1.3 Quantum board 180 x 390 Samsung lm301b 3500K+660nm Osram SSL + UV380+FR740 +IR850 on morphogenesis, accumulation of biomass and essential

oil of basil, *Ocimum basilicum* L. Stella varieties. The spectral composition of the studied illumination is characterized by a greater proportion of the red (600–700 nm) and far red (700–800 nm) parts of the spectrum, but with a smaller amount of green (500–600 nm) light (172.96 and 155.19; 25.06 and 16.19; 117.92 and 139.01 micromol/m²·c for the variant and control, respectively), ultraviolet (380 nm) and infrared (850 nm) radiation are present. The ratio of red to far red is 6.90 and 9.59 in the variant and control, respectively, the illumination intensity had no effect on the wet weight of plants: 30.7±4.2 and 31.0±3.7 g (150–200 mmol/m²·c), and 27.7±1.5 and 27.7±1.5 g (>300 mmol/m²·c) in option and control, respectively. The change in the lighting spectrum led to an increase in the average height of plants on the 14th, 20th, 22nd and 28th days after sowing. At the time of cutting (37 days), the proportion of plants with the 3rd, 4th, 5th and 6th pairs of leaves, with lateral shoots and the onset of the budding phase increased. The dry weight of the crop increased from 3.43% to 5.17 %, and the yield of essential oil increased by 1.7 times (from 3.81 to 4.03 mg/kg). According to the component composition of the essential oil, the Stella variety can be attributed to the linalool-eugenol chemotype. Conclusion: The realization of the biological potential of the ordinary Stella basil by using lamps with a higher proportion of the red and far red spectrum compared to lamps used on commercial vertical farms with the presence of ultraviolet and infrared radiation accelerates the passage of the phenophases of the vegetative stage, helps to increase the yield of dry plant mass, which ensures an increase in the amount of essential oil obtained with a high content of linalool, eugenol and 1,8-cineol.

Выращивание зелени и овощей в городских условиях в специальных установках с использованием современных технологий управления (спектрально-временной состав света, гидро/аэропоники) позволяет добиться производительности в десятки раз больше классического земледелия. Вертикальные фермы, на которых производство растительной продукции происходит практически в изоляции от окружающей среды, обладают такими преимуществами, как экономичность, производительность, обеспечение круглогодичного производственного цикла, независимость от погоды, возможность обеспечения идеальных условий выращивания для конкретной культуры [1, 2]. Среди этих условий одним из ключевых является свет. Раздел науки и технологии, изучающие взаимодействие органического вещества со светом и другими формами излучений, в которых квантовой единицей служит фотон, – это биофотоника [3]. В последние годы в рамках биофотоники выделен специализированный сегмент – агрофотоника или агроббиофотоника. Агроббиофотоника изучает указанные явления для всех живых организмов, которые имеют отношение к получению продуктов питания в сельском хозяйстве. В настоящее время в рамках агроббиофотоники активно изучаются и внедряются фотонные системы стимулирования эффективного роста сельскохозяйственных культур [4, 5]. Область искусственного освещения в агросекторе интенсивно прогрессирует после распространения светодиодных источников света, которые, наряду с прочими выгодными особенностями, позволяют формировать необходимый спектральный состав. Светодиоды (LEDs) – это перспективная технология с низким тепловыделением и возможностью

оптимизации спектра, которая обеспечивает повышение продуктивности растений. В современных установках земледелия закрытого грунта люминесцентные лампы постепенно замещаются на светодиодные. Это связано в первую очередь с высокой энергетической эффективностью систем светодиодного освещения, которые позволяют варьировать спектральный состав света в широких диапазонах, подбирая разные световые решения в зависимости от вида и сорта растения [1, 6–8]. Влияние спектра света на морфологию, онтогенез и накопление биомассы растений в достаточной степени изучено и очевидно. Учет потребностей растений в определенном спектральном составе света необходим при правильном подборе источников искусственного освещения – светодиодов, важнейшим преимуществом которых является возможность управлять качеством световой среды, от которой непосредственно зависят рост, морфогенез, фотосинтез растений [9–13]. Роль спектрального состава на накопление вторичных метаболитов менее изучена и привлекает пристальное внимание исследователей. Результаты исследований однозначно свидетельствуют, что с помощью света можно влиять на накопление в растениях тех или иных веществ вторичного метаболизма [14, 15]. Активно проводятся подобные исследования в отношении базилика обыкновенного, *Ocimum basilicum* L. – ценного эфиромасличного растения, широко применяемого в различных отраслях народного хозяйства [16–18].

Базилик, различные его виды и сорта, которые разнятся по своим пряноароматическим характеристикам, связанным с накоплением эфирных масел, является популярной зеленой культурой

защищенного грунта. Максимальная реализация генетического потенциала растений определяется возможностями оптимизации его культивирования. Известно, что на выращивание базилика в помещении влияет световой спектр, плотность потока фотосинтетических фотонов и фотопериод. При сравнении влияния обычных условий выращивания базилика в поле и в теплице, а также на городской ферме со светодиодным освещением на уровень эфирного масла и на его компонентный состав в разных сортах базилика было установлено повышенное содержание этого метаболита в листьях некоторых сортов при контролируемом освещении [19]. Показано, что светодиоды с узкой длиной волны, включая синие, красные и сине-красные, оказывают значительное влияние на повышение общего содержания фенолов и антирадикальной активности микрозелени базилика [20]. Изменение качества дополнительного освещения влияет на высоту растений и площадь листьев, содержание основных ароматических веществ в базилике сорта Итальянский крупнолистный, выращенном на гидропонике в теплице [21]. Спектральное качество дополнительного освещения в теплице может напрямую влиять на выделение ароматических летучих веществ и вторичных метаболитических ресурсов (т.е. конкретных соединений и классов соединений) [22]. Время и продолжительность применения светодиодных и люминесцентных ламп по-разному влияют на урожайность, накопление питательных веществ и эффективность использования света базиликом в теплице в разные сезоны. При выращивании базилика в микрокосмах от рассады до полностью сформировавшихся растений в различных условиях фотопериода и интенсивности освещения белым светом были обнаружены почти одни и те же летучие органические соединения, относящиеся к терпенам, альдегидам, спиртам, эфирам и кетонам. Линалоол, эвкалиптол и эвгенол были основными компонентами независимо от условий освещения [23].

Следует отметить, что большинство имеющихся данных получены в лабораторных установках, что не позволяет напрямую применять результаты на коммерческих вертикальных фермах. Экспериментально доказано, что базилик выделяется не только видовой, но и сортовой специфичностью в отношении реакции на спек-

тральный состав освещения, поэтому необходимо учитывать этот факт.

Очевидно, что существенными факторами, влияющими на рост и развитие растений, являются количество, качество и продолжительность освещения. Сельскохозяйственные производители могут манипулировать этими параметрами с помощью светодиодов для оптимизации выхода биомассы и качества растений по уровню и специфике вторичных метаболитов.

Следовательно, изучение спектрального состава освещения базилика определенного сорта, культивируемого в условиях вертикальных ферм не только в качестве зеленой продукции, но и для получения вторичных метаболитов, является актуальной проблемой.

Цель проведенного исследования заключалась в оценке влияния спектрального состава освещения светодиодами вертикальных ферм на накопление вегетативной массы и получение эфирного масла базилика обыкновенного, *Ocimum basilicum* L. сорта Стелла.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в условиях коммерческой вертикальной фермы (iFarm, г. Новосибирск). Семена базилика обыкновенного (душистый, огородный или камфорный), *Ocimum basilicum* L. (сем. Lamiaceae) сорта Стелла высевали в сетчатые сосуды для гидропоники диаметром 62 мм, заполненные смесью торфа и перлита в пропорции 3 : 1, по 7 семян в каждый сосуд. Два дня горшки находились в темноте, на третий день выставлялись на стеллажи под свет. Стеллажи из двух полок (1000×400 мм) на расстоянии 500 мм между ними (рис. 1).

Питание растений обеспечивалось слабоминерализованным раствором методом «затопления» первые 20 дней опыта и методом «глубоководной культуры» (DWC, Deep Water Culture) с 21 дня до окончания опыта (37 день после посева).

Для освещения применялись лампы Miniferner 1.3 Quantum board 180 × 390 Samsung lm301b 3500K+660nm Osram SSL + UV380+FR740+IR850 (вариант опыта) и лампы, используемые на коммерческой вертикальной ферме (контроль).



Рис. 1. Базилик обыкновенный, *Ocimum basilicum* L. сорта Стелла, культивируемый в условиях вертикальной фермы (фото А.О. Федосенко)

Common basil, *Ocimum basilicum* L., cultivar Stella, grown in a vertical farm (photo by A.O. Fedosenko)

Осветительные приборы были настроены на одинаковую выходную мощность, при которой создавалась максимальная плотность фотосинтетического потока фотонов (интенсивность светового излучения), равная $330 \text{ } \mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$. Фотопериод во время всего эксперимента 16/8 ч.

Спектры осветительных приборов и интенсивность светового излучения измеряли с помощью спектрофотометра «ТКА-Спектр» (ФАР) на расстоянии 280 мм от ламп. На протяжении эксперимента проводили мониторинг температуры и влажности воздуха с помощью датчиков DHT-11 и платформы Arduino, а также психрометрического гигрометра ВИТ-2.

При культивировании базилика температура воздуха менялась в диапазоне от $16,4$ до $28,4 \text{ } ^\circ\text{C}$, влажность – от 40 до 95 %. Средние значения составили $23,8 \pm 0,16 \text{ } ^\circ\text{C}$ и $70 \pm 0,7 \text{ } \%$ соответственно.

На 14, 20, 22, 28 и 37 день после посева определяли морфометрические и фенологические характеристики растений: высота побегов, количество пар листьев и наличие боковых побегов. На 37-й день (окончание эксперимента) проводили учет сырой массы срезованных с каждого горшка растений. Использовали весы ВК-1500.

Поскольку плотность светового потока распределялась на полках неравномерно, оценивали влияние данного фактора на сырую массу срезованных растений. Для этого в варианте и контроле отбирали по четыре сосуда, расположенных под освещением с низкой ($150\text{--}200 \text{ } \mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$) и высокой ($>300 \text{ } \mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$) плотностью.

Срезанные образцы надземной части базилика высушивали без доступа света, а затем измельчали вручную до частиц размером не более 5 мм.

Изучение эфирных масел базилика проводилось на базе НИОХ СО РАН и было выполнено младшим научным сотрудником лаборатории терпеновых соединений Д.В. Домрачевым. Эфирное масло извлекали методом гидродистилляции с параллельной экстракцией. Раствор эфирного масла в гексане сушили над безводным сульфатом натрия, фильтровали и отгоняли растворитель на ротационном испарителе при комнатной температуре. Полученный остаток взвешивали и запаивали в стеклянные ампулы, которые хранились в холодильнике до проведения анализа. Хромато-масс-спектры регистрировались на хроматографической системе Agilent (Agilent 5973N ГХ с масс-селективным детектором Agilent 5973N EI/PCI). Кварцевая капиллярная колонка HP5ms ($30 \text{ м} \times 0,25 \text{ мм}$). Газ-носитель гелий, 1 мл/мин. Температура колонки $50 \text{ } ^\circ\text{C}$ в течение 2 мин, $50\text{--}240 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($4 \text{ } ^\circ\text{C/мин}$), $240\text{--}280 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($20 \text{ } ^\circ\text{C/мин}$), $280 \text{ } ^\circ\text{C}$ в течение 5 мин. Полученные хроматограммы обрабатывали в программе Agilent Chemstation и AMDIS. Содержание компонентов определяли методом внутренней нормализации без использования поправочных коэффициентов. Данные по содержанию усредняли.

Для статистической обработки экспериментальных данных использовали методы описательной статистики и дисперсионного анализа в программах LibreOffice и Microsoft Excel LTSC 2021. При анализе принимали уровень значимости $p = 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Плотность потока фотонов, интенсивность освещения полки, занятой выращиваемой культурой, более равномерно распределялась в контроле

(рис. 2). В варианте уменьшение плотности потока фотонов от центра к краю полки более выражено, менее интенсивно освещались углы полки. Данная особенность объясняется конструктивными особенностями осветительных приборов.

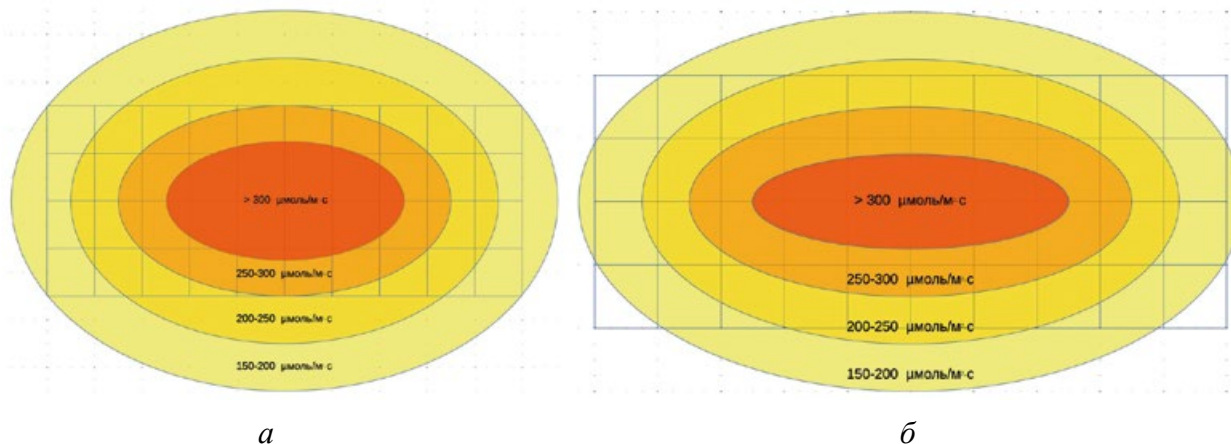


Рис. 2. Распределение плотности потока фотонов: а – контроль; б – вариант
Distribution of photon flux density: a – control; b – variant

Анализ спектрального состава освещения показывает, что при сопоставимых общей мощности и доле синего света вариант превышает контроль по содержанию красного и дальнего красного света, но при этом уступает по содержанию зеленого спектра (рис. 3). В спектральном

составе варианта присутствует ультрафиолет (380 нм) и инфракрасное (850 нм) излучение. Соотношение красного (600–700 нм) к дальнему красному (700–800 нм) свету составляет 6,90 и 9,59 в варианте и контроле соответственно.

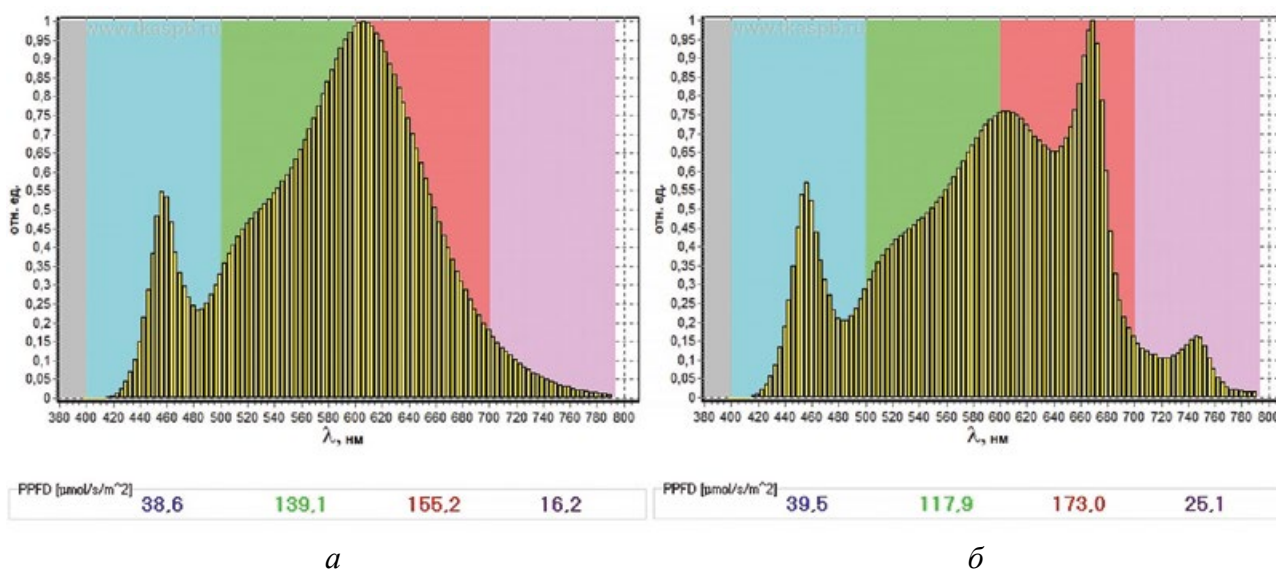


Рис. 3. Спектральный состав освещения: а – контроль; б – вариант
Spectral composition of lighting: a – control; b – variant

Различия в интенсивности освещения не оказало статистически значимого ($p = 0,74$) влияния на вегетативную массу срезанных растений, как и взаимодействие спектрального состава и интенсивности освещения ($F_{кр} > F_{ф}$, $p = 0,83$). Неравномерность плотности потока фотонов в

варианте опыта оказала влияние на существенное увеличение коэффициентов вариации изучаемого показателя. Таким образом, расположение сосудов на полке не оказало статистически значимого влияния на изучаемый показатель (табл. 1).

Таблица 1

Влияние интенсивности освещения на вегетативную массу срезанных растений при различных условиях освещения
The influence of illumination intensity on the vegetative mass of cut plants under different lighting conditions

Условия эксперимента		Вегетативная масса срезанных растений, г		
		$\bar{x} \pm S \bar{x}$	σ	$C_v, \%$
Вариант	Низкая освещенность (150–200 $\mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$)	30,7 $\pm$ 4,2	71,8	233,9
	Высокая освещенность (>300 $\mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$)	31,0 $\pm$ 3,7	54,9	177,1
Контроль	Низкая освещенность (150–200 $\mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$)	27,7 $\pm$ 1,5	9,1	32,9
	Высокая освещенность (>300 $\mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$)	27,7 $\pm$ 1,5	13,4	45,6

Различия в спектральном составе освещения определяли от 1,7 до 14,7 % вариации высоты растений, но на момент окончания эксперимента (37 день после посева) не выявлено влияния этого

фактора на изучаемый показатель (табл. 2). Это свидетельствует о целесообразности применения спектра освещения, представленного в варианте, в период вегетативной фазы развития базилика.

Таблица 2

Влияние спектрального состава освещения на динамику роста базилика
The influence of spectral composition of lighting on the growth dynamics of basil

Условия эксперимента	Дни после посева	Высота растений, мм $\bar{x} \pm S \bar{x}$	Влияние признака	
			F	$\%$
Вариант	14	25,48 $\pm$ 0,27	$F_{кр} > F_{ф}$ $p = 1,59\text{e-}08$	4,2
Контроль		23,36 $\pm$ 0,26		
Вариант	20	48,92 $\pm$ 0,51	$F_{кр} > F_{ф}$ $p = 1,017\text{e-}14$	14,7
Контроль		44,07 $\pm$ 0,32		
Вариант	22	51,5 $\pm$ 1,33	$F_{кр} > F_{ф}$ $p = 0,010$	1,7
Контроль		46,71 $\pm$ 1,3		
Вариант	28	93,69 $\pm$ 4,25	$F_{кр} > F_{ф}$ $p = 0,028$	2,4
Контроль		80,71 $\pm$ 4,06		
Вариант	37 (бутонизация)	143,65 $\pm$ 13,5	$F_{кр} < F_{ф}$ $p = 0,059$	0
Контроль		184,72 $\pm$ 16,66		

Не выявлено статистически значимого влияния ($t_{ф} < t_{кр}$) спектрального состава освещения на скорость формирования второй пары листьев у растений (рис. 4, а). На 37-й день после посева в варианте по сравнению с контролем увеличивается доля растений с третьей, четвертой, пятой

и шестой парами листьев, а также с боковыми побегами (рис. 4, б, в, рис. 5). Кроме ускорения морфогенеза отмечено начало фазы бутонизации у растений при освещении спектром светодиодов, примененных в варианте опыта.

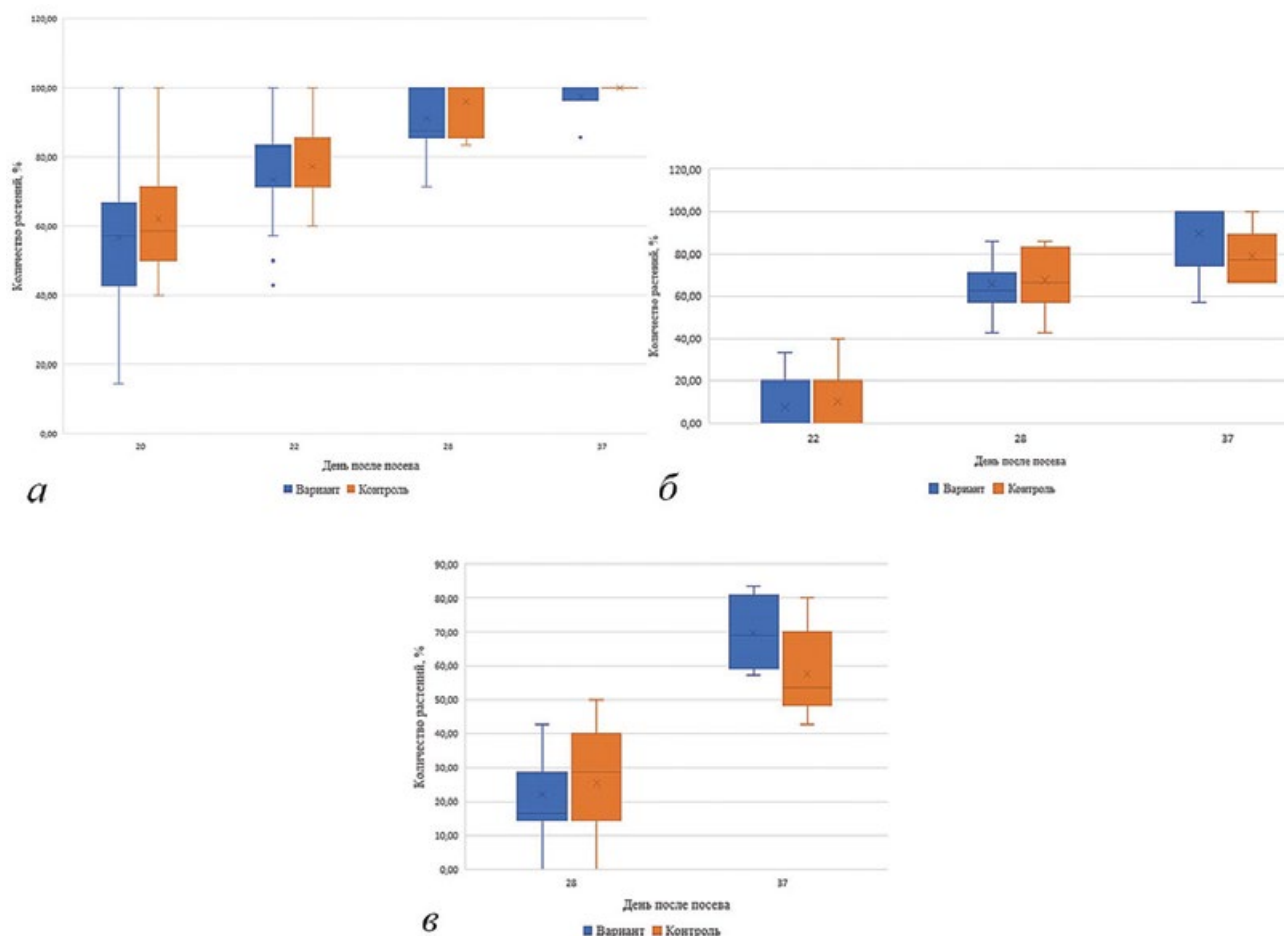


Рис. 4. Доля растений по дням учета со второй (а), третьей (б), четвертой (в) парой листьев, %
The proportion of plants by days of accounting with the second (a), third (b), fourth (c) pair of leaves, %

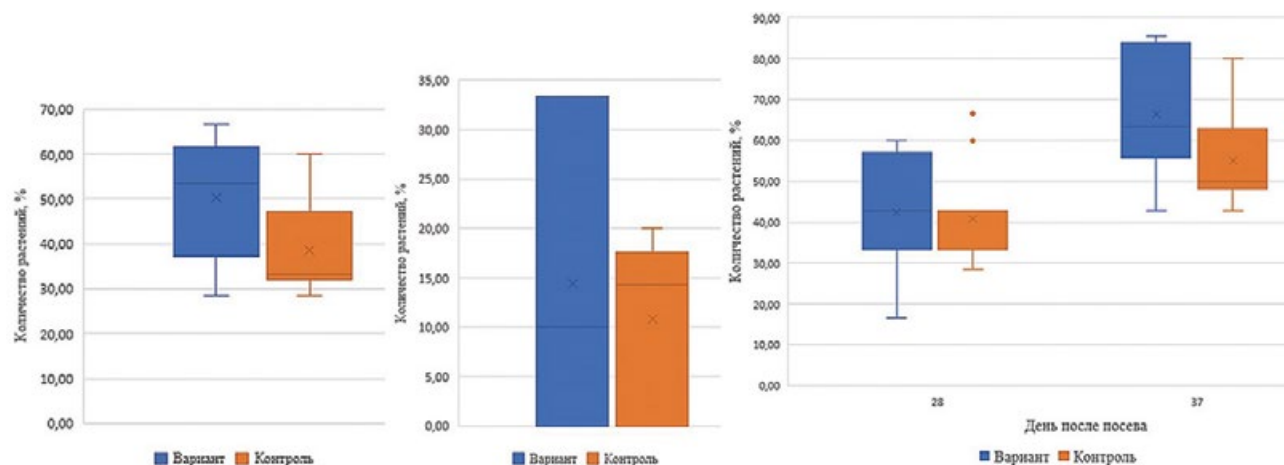


Рис. 5. Доля растений с пятой (а) и шестой (б) парой листьев, с боковыми побегами (в) на 37-й день после посева, %
The proportion of plants with the fifth (a) and sixth (b) pair of leaves, with lateral shoots (c) on the 37th day after sowing, %

Таким образом, морфометрические характеристики базилика, культивируемого при использовании различных спектров освещения, не показали значимых отличий на момент окончания эксперимента (начало фазы бутонизации) по высоте и сырой массе срезанных растений. Однако используемый в варианте источник освещения

влияет на скорость прохождения фенологических периодов вегетативной фазы, что способствует сокращению производственного цикла.

Используемый в варианте спектр освещения привел к увеличению накопления сухой массы растений (табл. 3).

Содержание эфирного масла в образцах
Essential oil content in samples

Показатель	Вариант	Контроль
Сухая масса сырья, г	50,25	31,48
Получено масла, мг	202,3	120,0
Выход масла, %	0,403	0,381
Выход масла, мг/г	4,03	3,81

Выход эфирного масла составил 0,403 и 0,381 %, но в результате различий в массе исходного материала получена существенная разница в количестве полученного масла: 202,3 и 120 мг для варианта и контроля соответственно. Сухая масса урожая базилика в варианте опыта составляла 5,17 % против 3,43 % в контроле (табл. 3).

Среди основных идентифицированных компонентов эфирного масла преобладают: 1,8-цинеол – $3,06 \pm 0,06$ и $1,86 \pm 0,02$ %; линалоол – $27,74 \pm 1,12$ и $22,3 \pm 0,7$ %; эвгенол – $28,02 \pm 0,43$ и $25,12 \pm 0,33$ % в варианте и контроле соответственно. В растениях контроля содержалось больше, чем в растениях варианта соответственно: транс- α -бергмотена – $7,08 \pm 0,12$ и $10,34 \pm 0,18$ %; Е- β -фарнезена – $1,5 \pm 0,04$ и $2,15 \pm 0,01$ %; γ -кадинена – $1,54 \pm 0,03$ и $2,32 \pm 0,02$ %; Т-кадинола – $4,08 \pm 0,09$ и $5,09 \pm 0,05$ %. Отмечены различия в содержании минорных компонентов (<1 %). В варианте обнаружены транс- β -оцимен, октанол-1; в контроле – транс-фуранолиналооксид, цис-фуранолиналооксид, α -куббен, Е-неролидол, интермедеол, гексагидрофарнезилацетон. Особенности состава эфирного масла заключаются в преобладании линалоола и эвгенола, что служит основанием для отнесения базилика обыкновенного, *O. basilicum* сорта Стелла к линалоолово-эвгенольному хемотипу.

Анализ компонентного состава эфирного масла базилика показывает зависимость его качества (доли отдельных компонентов) от спектра освещения растений. Спектр освещения в варианте опыта обеспечивает получение растений с более высоким содержанием линалоола, эвгенола и 1,8-цинеола.

В целом полученные результаты не противостоят устоявшимся взглядам на роль светового спектра в морфогенезе и физиологии растений и позволяют оптимизировать освещение при выращивании базилика сорта Стелла в условиях вертикальных ферм с целью повышения выхода эфирных масел.

Результаты, полученные при изучении интенсивности освещения, свидетельствуют об отсутствии статистически значимого влияния плотности фотонного потока при его изменении в диапазоне от 150–200 до >300 $\mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$ на получаемую сырую биомассу базилика. Это не согласуется с результатами авторов, установивших существенное влияние интенсивности освещения на сырую массу листьев и высоту растений базилика сорта Арарат [24]. Очевидна роль сортовых особенностей базилика, а также, вероятно, влияние различий в плотности посадки растений и неравномерности плотности потока фотонов.

Высота растений базилика сортов Анисовый аромат и Опал, выращенных в аналогичном нашем контролю спектре освещения, но с меньшей интенсивностью (180 против 330 $\mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$ в нашем эксперименте), составила 63 ± 7 и 135 ± 26 мм [11]. Учитывая существенное различие в интенсивности освещения, стоило ожидать большей высоты растений сорта Стелла в контроле, однако она составила $80,71 \pm 4,06$ мм. Вероятно, это связано не только с сортовой специфичностью, но и с высокой плотностью посадки растений, что вызвало большую вариабельность данного морфологического параметра: высота растений в контроле изменялась от 15 до 190 мм. В связи с этим важным является вопрос оптимизации плотности посадки растений в сосуде.

Данные по динамике роста и высоте растений как в контрольной группе, так и в варианте, сопоставимы с показателями, приведенными в литературе для базилика сорта Компатто, выращенного под светодиодной установкой красно-синего спектра [25].

Средняя высота 3-недельных растений базилика сорта Цезарь, выращенных под светодиодным освещением с синим, красным и дальним красным спектром и интенсивностью светового потока 180 $\mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$, составила 18 мм [26]. Это значительно меньше показателей, наблюдаемых в нашем опыте для сорта Стелла при 330 $\mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$

для аналогичного периода вегетации ($51,5 \pm 1,33$ и $46,7 \pm 1,3$ мм для варианта и контроля соответственно). Такая разница может быть связана с более высокой интенсивностью освещения в нашем опыте и более длительным световым периодом (фотопериод 16/8 и 12/12 ч для сорта Стелла и Цезарь соответственно). Также нельзя исключать влияние сортовой специфичности.

В ряде публикаций, как и в представленном исследовании, отмечается рост сухой массы базилика при высоком содержании дальнего красного света и более низком соотношении красного к дальнему красному [27–29].

В эксперименте не выявлено влияния изменений в спектре освещения на высоту и сырую массу растений на момент сбора урожая, однако в варианте с большей долей красного спектра возросло содержание эфирных масел, что согласуется с результатами, полученными другими авторами [30].

Исследования других авторов показывают, что выход эфирного масла колеблется от 0,07 до 1,92 % от сухой массы растений базилика в зависимости от сорта и условий выращивания [31]. Это подтверждается результатами проведенного анализа: базилик сорта Стелла характеризовался выходом эфирного масла 0,40 и 0,38 % в варианте и контроле соответственно. Этот показатель ниже, чем у сортов Русский гигант зеленый, Лимонный и Перечный (0,81, 0,67 и 0,78 % соответственно) [32].

Результат нашего эксперимента подтверждает данные о повышении концентрации в эфирном масле определенных соединений (1,8-цинеол, линалоол, эвгенол) при выращивании базилика в присутствии ультрафиолетового спектра [33]. Последнее свидетельствует о близких механизмах реакции сортов Стелла и Генуэзский на данный фактор.

ВЫВОДЫ

1. Спектральный состав изученного освещения отличается большей долей красной (600–700 нм) и дальней красной (700–800 нм) частей спектра, но с меньшим количеством зеленого (500–600 нм) света (интенсивность 172,96 и 155,19; 25,06 и 16,19; 117,92 и 139,01 $\mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$ для варианта и контроля соответственно), присутствует ультрафиолет (380 нм) и инфракрасное излучение (850 нм). В контроле освещение распределено более равномерно, чем в варианте,

где менее интенсивно освещаются углы полок вертикальной фермы.

2. Интенсивность освещения в изученном диапазоне не оказывает влияния на сырую массу срезанных растений, которая составляла $30,7 \pm 4,2$ и $31,0 \pm 3,7$ г (при 150–200 $\mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$), и $27,7 \pm 1,5$ и $27,7 \pm 1,5$ г (при $>300 \mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$) для варианта и контроля соответственно. Взаимодействие спектрального состава и интенсивности освещения существенного влияния на накопление вегетативной массы растений не оказывает ($F_{\text{табл.}} > F_{\text{факт.}}$, $p = 0,83$).

3. Изменение спектра освещения обеспечивает повышение накопления сухой массы базилика (5,17 против 3,43 % в контроле), но не оказывает существенного влияния на сырую массу срезанных растений.

4. Изменение спектра освещения оказало влияние на скорость морфогенеза базилика обыкновенного сорта Стелла: увеличилась средняя высота растений на 14, 20, 22 и 28 дни после посева ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{кр.}}$). На момент срезки (37 дн.) значимого влияния на высоту не выявлено ($p = 0,059$), но увеличилась доля растений с третьей, четвертой, пятой и шестой парами листьев, а также с боковыми побегами.

5. Изменение спектра освещения растений обеспечило повышение выхода эфирного масла в 1,7 раза. Среднее содержание в его составе 1,8-цинеола увеличилось в 1,64, линалоола – в 1,24 и эвгенола – в 1,11 раз. По компонентному составу эфирного масла сорт Стелла базилика обыкновенного может быть отнесен к линалоолово-эвгенольному хемотипу.

6. Реализация генетического потенциала базилика обыкновенного сорта Стелла, культивируемого на вертикальных фермах для получения эфирного масла, обеспечивается за счет использования ламп Miniferner 1.3 Quantum board 180 x 390 Samsung lm301b 3500K + 660nm Osram SSL + UV380 + FR740 + IR850 с большей долей красного и дальнего красного спектра по сравнению с применяемыми на коммерческих вертикальных фермах лампами с присутствием ультрафиолета и инфракрасного излучения, поскольку ускоряет прохождение фенологических периодов вегетативной фазы, способствует увеличению выхода сухой массы растений, что увеличивает количество получаемого эфирного масла с повышенным содержанием линалоола, эвгенола и 1,8-цинеола.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «Светодиодная революция» и новые возможности повышения эффективности светокультуры растений / Г.В. Боос, Л.Б. Прикупец, В.И. Трухачев [и др.] // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2022. – № 5. – С. 36–41.
2. Филатов Д.А., Авдеева Е.А., Опонин И.Ю. Оптимальные параметры и режимы работы системы освещения вертикальных ферм: обзор мировых исследований // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2023. – Т. 70, № 2 (51). – С. 10–18.
3. Фотоника: Словарь терминов / Т.Е. Ковалевская [и др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 342 с.
4. Соснин Э.А., Кульчин Ю.Н., Астафурова Т.П. Становление агробиофотоники как закономерное развитие научных направлений / ВКВО-2019 Агробиофотоника. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stanovlenie-agrobiofotoniki-kak-zakonomernoe-razvitie-nauchnyh-napravleniy> (дата обращения: 29.05.2025).
5. Applications of photonics in agriculture sector: A review / J.Y. Tan, P.J. Ker, K.Y. Lau [et al.] // Molecules. – 2019. – Vol. 24, № 10. – P. 2025.
6. Прикупец Л.Б. Светодиоды в тепличном освещении: возможности и реальность // Светотехника. Спец. вып. Международная научно-техническая конференция по применению светодиодных фитооблучателей. – 2019. – С. 8–12.
7. ФГБУН Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук. – URL: <https://www.iacp.dvo.ru/structure/collective/2614/2621/2625> (дата обращения: 29.05.2025).
8. НИПЛ «Агробиофотоника» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». – URL: <https://abiofotonica.ru/#> (дата обращения: 29.05.2025).
9. Park Y., Runkle E.S. Spectral effects of light-emitting diodes on plant growth, visual color quality, and photosynthetic photon efficacy: White versus blue plus red radiation // PLoS ONE. – 2018. – Vol. 13 (8): e0202386. – DOI: 10.1371/journal.pone.0202386.
10. Кульчин Ю.Н. Агробиофотоника – влияние света на развитие растений // Фотон-экспресс. – 2019. – № 6 (158). – С. 64.
11. Продуктивность базилика сладкого (*Ocimum basilicum* L.) при выращивании в оранжереях с использованием светодиодного освещения / В.В. Кондратьева, Т.В. Воронкова, М.В. Семанова [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 9. – С. 3–10. – DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-3-10.
12. Hammock H.A., Kopsell D.A., Sams C.E. Application timing and duration of LED and HPS supplements differentially influence yield, nutrient bioaccumulation, and light use efficiency of greenhouse basil across seasons // Frontiers in plant science. – 2023. – Vol. 14. – P. 1174823. – DOI: 10.3389/fpls.2023.1174823.
13. Влияние спектрального состава светодиодных источников искусственного освещения на функциональную активность фотосинтетического аппарата листьев базилика / Е.М. Кабачевская, С.В. Суховеева, Ю.В. Трофимов [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. – 2023. – Т. 90, № 6. – С. 910–916.
14. Фотонная регуляция биосинтеза вторичных метаболитов в салате *Eruca sativa* / Ю.Н. Кульчин, В.П. Булгаков, Е.П. Субботин [и др.] // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2021. – № 4. – С. 87–98. – DOI: 10.37102/0869-7698_2021_218_04_10.
15. Исследование влияния излучения в различных диапазонах области ФАР на продуктивность и биохимический состав биомассы салатно-зеленных культур / Л.Б. Прикупец, Г.В. Боос, В.Г. Терехов [и др.] // Светотехника. – 2018. – № 5. – С. 6–2.
16. Иваницких А.С., Тараканов И.Г. Действие спектрального состава света на накопление эфирных масел растениями базилика в условиях светокультуры // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2022. – Т. 25, № 11. – С. 3–9.
17. Шайдуллин А.Х. Продуктивность и питательная ценность зеленных культур (*Ocimum basilicum* L., *Eruca sativa* Mill.) в условиях светокультуры // Агробиоинженерия 2021: сб. ст. Всерос. конф.-конкурса молодых исследователей, Москва, 1 февраля – 30 апреля 2021 г. – М., 2021. – С. 269–273.
18. Effect of Light Intensity and Light Spectrum of LED Light Sources on Photosynthesis and Secondary Metabolite Synthesis in *Ocimum basilicum* / L. Jokic, I. Pappert, T.Q. Khanh [et al.] // Plants (Basel, Switzerland). – 2025. – Vol. 14 (9). – P. 1334. – DOI: 10.3390/plants14091334.
19. Treasures Induced by Narrow-Spectrum: Volatile Phenylpropanoid and Terpene Compounds in Leaves of Lemon Basil (*Ocimum × citriodorum* Vis.), Sweet Basil (*O. basilicum* L.) and Bush Basil (*O. minimum* L.) Under Artificial Light City Farm Conditions / S.L. Belopukhov, V.L. Dmitrieva, V.E. Luneva [et al.] // Plants (Basel, Switzerland). – 2025. – Vol. 14 (9). – P. 403. – DOI: 10.3390/plants14030403.
20. Effect of light emitting diodes (LEDs) irradiation on the functional quality and shelf life of basil microgreens / Z. Narouei, S.A.H. Gail, M.R. Sabzalian [et al.] // J. Essential Oil Research. – 2024. – Vol. 36 (4). – P. 367–379.

21. *Pre-harvest supplemental LED treatments led to improved postharvest quality of sweet basil leaves* / A.I. Sale, A. Uthairatanakij, N. Laohakunjit [et al.] // *J. Photochem Photobiol.* – 2023. – 248. – P. 112788. – DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2023.112788.
22. *Hammock H.A., Sams C.E. Variation in supplemental lighting quality influences key aroma volatiles in hydroponically grown 'Italian Large Leaf' basil* // *Frontiers in plant science.* – 2023. – Vol. 14. – P. 11846–11864. – DOI: 10.3389/fpls.2023.1184664.
23. *Light Flux Density and Photoperiod Affect Growth and Secondary Metabolism in Fully Expanded Basil Plants* / L. d'Aquino, R. Cozzolino, L. Malorni [et al.] // *Foods (Basel, Switzerland).* – 2024. – Vol. 13 (14). – P. 2273. – DOI: 10.3390/foods13142273.
24. *Фотосинтез и продуктивность у растений базилика (Ocimum basilicum L.) при облучении различными источниками света* / М.Н. Полякова, Ю.Ц. Мартиросян, Т.А. Диловарова [и др.] // *Сельскохозяйственная биология.* – 2015. – Т. 50, № 1. – С. 124–130.
25. *Тимошенко П.В. Продуктивность базилика Ocimum basilicum L., выращенного в условиях светодиодного освещения* // *Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР.* – 2020. – № 1–2. – С. 291–293.
26. *Light Quality Dependent Changes in Morphology, Antioxidant Capacity, and Volatile Production in Sweet Basil (Ocimum basilicum)* / S.D. Carvalho, M.L. Schwieterman, C.E. Abrahan [et al.] // *Frontiers in Plant Science.* – 2016. – Vol. 7. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01328/full> (дата обращения: 29.05.2025).
27. *Bantis F., Ouzounis T., Radoglou K. Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of Ocimum basilicum, but variably affects transplant success* // *Scientia Horticulturae.* – 2016. – Vol. 198. – P. 277–183.
28. *Supplementary UV-B irradiation effects on basil (Ocimum basilicum L.) growth and phytochemical properties* / J. Sakalauskaite, P. Viškelis, P. Duchovskis [et al.] // *Journal of Food, Agriculture & Environment.* – 2012. – Vol. 10 (3, 4) – P. 342–346.
29. *Optimization of basil (Ocimum basilicum L.) production in LED light environments – a review* / L. Sipos, L. Balazs, G. Szekely [et al.] // *Scientia Horticulturae.* – 2021. – Vol. 289. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423821005938?via%3Dihub> (дата обращения: 29.05.2025).
30. *Влияние спектрального состава освещения на выход биомассы, флуоресценцию хлорофилла фотосистемы 2 и общее содержание эфирных масел у Ocimum basilicum* / В.С. Зотов, Ю.В. Большевская, С.А. Хапчаева [и др.] // *Прикладная биохимия и микробиология.* – 2020. – Т. 56, № 3. – С. 283–291.
31. *Zheljazkov V.D., Callahan A., Cantrell Ch.L. Yield and Oil Composition of 38 Basil (Ocimum basilicum L.) Accessions Grown in Mississippi* // *J. of Agricultural and Food Chemistry.* – 2008. – Vol. 56 (1). – P. 241–245.
32. *Анализ морфолого-анатомических признаков и оценка содержания эфирного масла в листьях базилика камфорного (Ocimum basilicum L.)* / К.И. Кравчук, Н.В. Нестерова, В.Ю. Ермакова [и др.] // *Медицинское образование и вузовская подготовка.* – 2018. – № 3(13)–4(14). – С. 133–137.
33. *Chang X., Alderson P., Wright C. Enhanced UV-B radiation alters basil (Ocimum basilicum L.) Growth and stimulates the synthesis of volatile oils* // *Horticulture and Forestry.* – 2009 – Vol. 1 – P. 27–31.

REFERENCES

1. Boos G.V., Prikupec L.B., Truhachjov V.I. [i dr.], *Vestnik Rossijskoj sel'skhozjajstvennoj nauki*, 2022, No. 5, pp. 36–41. (In Russ.)
2. Filatov D.A., Avdeeva E.A., Oponin I.Ju., *Jelektrotehnologii i jelektrooborudovanie v APK*, 2023, Vol. 70, No. (51), pp. 10–18. (In Russ.)
3. Kovalevskaja T.E. i dr., *Fotonika: slovar' terminov* (Photonics: Glossary of Terms), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2004, 342 p. (In Russ.)
4. Sosnin Je.A., Kul'chin Ju.N., Astafurova T.P., *VKVO-2019 Agrobiofotonika*: <https://cyberleninka.ru/article/n/stanovlenie-agrobiofotoniki-kak-zakonomernoe-razvitie-nauchnyh-napravlenij> [data obrashhenija 29.05.2025]. (In Russ.)
5. Tan J.Y., Ker P.J., Lau K.Y. [et al.], Applications of photonics in agriculture sector: A review, *Molecules*, 2019, Vol. 24, No. 10, pp. 20–25.
6. Prikupec L.B., Svetotehnika. *Special'nyj vypusk: Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija po primeneniju svetodiodnyh fitoobluchatelej*, 2019, pp. 8–12. (In Russ.)
7. *FGBUN Institut avtomatiki i processov upravlenija Dal'nevostochnogo otdelenija Rossijskoj akademii nauk* (Federal State Budgetary Scientific Institution Institute of Automation and Control Processes of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences): <https://www.iacp.dvo.ru/structure/collective/2614/2621/2625> [data obrashhenija 29.05.2025]. (In Russ.)
8. *NPL «Agrobiofotonika» FGAOU VO «Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politehnicheskij universitet»* (Scientific and Production Laboratory “Agrobiofontika” of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Edu-

- cation “National Research Tomsk Polytechnic University”), <https://abiofotonica.ru/#> [data obrashhenija 29.05.2025]. (In Russ.)
9. Park Y., Runkle E.S., Spectral effects of light-emitting diodes on plant growth, visual color quality, and photosynthetic photone efficacy: White versus blue plus red radiation, *PLoS ONE*, 2018, Vol. 13 (8), pp. e0202386, DOI: 10.1371/journal.pone.0202386.
 10. Kul'chin Ju.N., *Foton-jekspress*, 2019, No. 6 (168), pp. 64. (In Russ.)
 11. Kondrat'eva V.V., Voronkova T.V., Semonova M.V. i dr., *Vestnik KrasGAU*, 2022, No. 9, pp. 3–10, DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-3-10. (In Russ.)
 12. Hammock H.A., Kopsell D.A., Sams C.E., Application timing and duration of LED and HPS supplements differentially influence yield, nutrient bioaccumulation, and light use efficiency of greenhouse basil across seasons, *Frontiers in plant science*, 2023, Vol. 14, pp. 1174823, DOI: 10.3389/fpls.2023.1174823.
 13. Kabachevskaja E.M., Suhoveeva S.V., Trofimov Ju.V. [i dr.], *Zhurnal prikladnoj spektroskopii*, 2023, Vol. 90, No. 6, pp. 910–916. (In Russ.)
 14. Kul'chin Ju.N., Bulgakov V.P., Subbotin E.P. [i dr.], *Vestnik DVO RAN*, 2021, No. 4, pp. 87–98, DOI: 10.37102/0869-7698_2021_218_04_10. (In Russ.)
 15. Prikupec L.B., Boos G.V., Terehov V.G. [i dr.], *Svetotekhnika*, 2018, No. 5, pp. 6–2. (In Russ.)
 16. Ivanickih A.S., Tarakanov I.G., *Voprosy biologicheskoy, medicinskoj i farmacevticheskoy khimii*, 2022, Vol. 25, No. 11, pp. 3–9. (In Russ.)
 17. Shajdullin A.H., *Agrobioinzhenerija 2021* (Agrobioengineering 2021), Conference papers collection, Moscow, 2021, pp. 269–273. (In Russ.)
 18. Jokic L., Pappert I., Khanh T.Q. [et al.], Effect of Light Intensity and Light Spectrum of LED Light Sources on Photosynthesis and Secondary Metabolite Synthesis in *Ocimum basilicum*, *Plants (Basel, Switzerland)*, 2025, Vol. 14 (9), pp. 1334, Doi: 10.3390/plants14091334 [data obrashhenija 20.05.2025].
 19. Belopukhov S.L., Dmitrieva V.L., Luneva V.E. [et al.], Treasures Induced by Narrow-Spectrum: Volatile Phenylpropanoid and Terpene Compounds in Leaves of Lemon Basil (*Ocimum × citriodorum* Vis.), Sweet Basil (*O. basilicum* L.) and Bush Basil (*O. minimum* L.) Under Artificial Light City Farm Conditions, *Plants (Basel, Switzerland)*, 2025, Vol. 4 (9), pp. 403, DOI: 10.3390/plants14030403 [data obrashhenija 29.05.2025].
 20. Narouei Z., Goil S.A.H., Sabzalian M.R. [et al.], Effect of light emitting diodes (LEDs) irradiation on the functional quality and shelf life of basil microgreens, *J. Essential Oil Research*, 2024, Vol. 36 (4), pp. 367–379 [data obrashhenija 29.05.2025].
 21. Sale A.I., Uthairatanakij A., Laohakunjit N. [et al.], Pre-harvest supplemental LED treatments led to improved post-harvest quality of sweet basil leaves, *J. Photochem Photobiol*, 2023, Vol. 248, pp. 112788, DOI: 10.1016/j.jphoto-biol.2023.112788.
 22. Hammock H.A., Sams C.E., Variation in supplemental lighting quality influences key aroma volatiles in hydroponically grown ‘Italian Large Leaf’ basil, *Frontiers in plant science*, 2023, Vol. 14, pp. 11846–11864, DOI: 10.3389/fpls.2023.1184664 [data obrashhenija 20.05.2025].
 23. d’Aquino L., Cozzolino R., Malorni L. [et al.], Light Flux Density and Photoperiod Affect Growth and Secondary Metabolism in Fully Expanded Basil Plants, *Foods (Basel, Switzerland)*, 2024, Vol. 13 (14), pp. 2273, DOI: 10.3390/foods13142273 [data obrashhenija 29.05.2025].
 24. Poljakova M.N., Martirosjan Ju.C., Dilovarova T.A. [i dr.], *Sel'skhozjajstvennaja biologija*, 2015, T. 50, No. 1, pp. 124–130. (In Russ.)
 25. Timoshenko P.V., *Sbornik izbrannyh statej nauchnoj sessii TUSUR*, 2020, No. 1–2, pp. 291–293. (In Russ.)
 26. Carvalho S.D., Schwieterman M.L., Abrahan C.E. [et al.], Light Quality Dependent Changes in Morphology, Antioxidant Capacity, and Volatile Production in Sweet Basil (*Ocimum basilicum*), *Frontiers in Plant Science*, 2016, Vol. 7: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01328/full>.
 27. Bantis F., Ouzounis T., Radoglou K., Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success, *Scientia Horticulturae*, 2016, Vol. 198, pp. 277–283.
 28. Sakalauskaite J., Viškelis P., Duchovskis P. [et al.], Supplementary UV-B irradiation effects on basil (*Ocimum basilicum* L.) growth and phytochemical properties, *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2012, Vol. 10 (3, 4), pp. 342–346.
 29. Sipos L., Balazs L., Szekely G. [et al.], Optimization of basil (*Ocimum basilicum* L.) production in LED light environments – a review, *Scientia Horticulturae*, 2021, Vol. 289: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423821005938?via%3Dihub>.
 30. Zotov V.S., Bolychevskaja Ju.V., Hapchaeva S.A. [i dr.], *Prikladnaja biokhimiya i mikrobiologija*, 2020, Vol. 56, No. 3, pp. 283–291. (In Russ.)
 31. Zheljazkov V.D., Callahan A., Cantrell Ch.L., Yield and Oil Composition of 38 Basil (*Ocimum basilicum* L.) Accessions Grown in Mississippi, *J. of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, Vol. 56 (1), pp. 241–245.

32. Kravchuk K.I., Nesterova N.V., Ermakova V.Ju. [i dr.], *Medicinskoe obrazovanie i vuzovskaja podgotovka*, 2018, No. 3 (13)–4 (14), pp. 133–137. (In Russ.)
33. Chang X., Alderson P., Wright C., Enhanced UV-B radiation alters basil (*Ocimum basilicum* L.) Growth and stimulates the synthesis of volatile oils, *Horticulture and Forestry*, 2009, Vol. 1, pp. 27–31.

Информация об авторах:

Л.А. Осинцева, доктор биологических наук, профессор

А.О. Федосенко, магистр

В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор

А.И. Жёлтиков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

В.Г. Маренков, кандидат биологических наук, доцент

Contribution of the authors:

L.A. Osintseva, Doctor of Biological Sciences, Professor

A.O. Fedosenko, Master's degree

V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor

A.I. Zheltikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

V.G. Marenkov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ

А.Ф. Петров, Р.Р. Галеев, К.С. Макарова, О.Н. Колбина, Н.А. Петров

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: petrov190378@mail.ru

Для цитирования: Изучение влияния азотных удобрений на рост и развитие капусты белокочанной / А.Ф. Петров, Р.Р. Галеев, К.С. Макарова, О.Н. Колбина, Н.А. Петров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 77–82. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-77-82.

Ключевые слова: капуста белокочанная, азотные удобрения, урожайность, качество продукции, структура урожая.

Реферат. Капуста белокочанная – это одна из самых распространенных овощных культур России. Востребованность культуры обусловлена богатым биохимическим составом и широкой областью применения. В состав капусты входят макро- и микроэлементы, она богата клетчаткой, аминокислотами, фитонцидами и витаминами, особенно аскорбиновой кислотой. Капуста употребляется в пищу в свежем виде, в составе горячих блюд, используется для квашения и маринования. Выделяют капусту среди других овощных культур и благодаря потенциально высокой урожайности и длительному хранению. В данной работе использовали два гибрида капусты белокочанной Атрия F1 и Мегатон F1, на которых применяли различные дозы минеральных азотных удобрений. В результате работы установлено положительное действие удобрений на элементы структуры и урожайность культуры в целом. Так, применение азотных удобрений по сравнению с контролем на 30 % и более повышают размер кочана и в 2–3 раза его массу. При этом максимальные показатели структуры урожая отмечены на гибриде Мегатон F1, при норме внесения NH_4NO_3 – 80 кг д.в., где масса кочана в среднем за три года составляла 7,7 кг, что в 2 раза выше показателей гибрида Атрия F1. В среднем за три года применение азотных удобрений прямо пропорционально влияло на урожайность капусты белокочанной, когда даже минимальные дозы удобрений N_{40} обеспечивают прибавку урожайности на 30 % по гибриду Атрия F1 и 65 % по гибриду Мегатон F1. В то же время максимальные дозы обеспечивают прибавку урожайности уже до 74 и 200 % соответственно. Кроме того, установлено, что биохимический состав капусты белокочанной как по сортам, так и по вариантам опыта отличается незначительно. Отклонения имеются лишь по отдельным показателям между контролем и обработанным фоном до 7–10 %.

STUDY OF THE EFFECT OF NITROGEN FERTILIZERS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF WHITE CABBAGE

A.F. Petrov, R.R. Galeev, K.S. Makarova, O.N. Kolbina, N.A. Petrov

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: petrov190378@mail.ru

Keywords: white cabbage, nitrogen fertilizers, yield, product quality, crop structure.

Report. White cabbage is one of the most common vegetable crops in Russia. The culture is in demand due to its rich biochemical composition and wide range of applications. Cabbage contains macro- and microelements, it is rich in fiber, amino acids, phytoncides and vitamins, especially ascorbic acid. Cabbage is eaten fresh, as part of hot dishes, used for pickling and pickling. Cabbage is distinguished from other vegetable crops due to its potentially high yield and long-term storage. In this work, two hybrids of white cabbage Atria F1 and Megaton F1 were used, which used different doses of mineral nitrogen fertilizers. As a result of the work, the positive effect of fertilizers on the structural elements and crop yields as a whole has been established. Thus, the use of nitrogen fertilizers increases the head size and weight by 2–3 times by 30% or more compared to the control. At the same time, the maximum yield structure indicators were noted on the Megaton F1 hybrid, with a NH_4NO_3 application rate of 80 kg/day, where the head weight averaged 7.7 kg over 3 years, which is 2 times higher than the Atria F1 hybrid. On average, over three years, the use of nitrogen fertilizers had a directly proportional effect on the yield of white cabbage, when even the minimum doses of N_{40} fertilizers provide an increase in yield of 30 % for the Atria

F1 hybrid and 65 % for the Megaton F1 hybrid, while the maximum doses provide an increase in yield of up to 74 and 200 %, respectively. In addition, it was found that the biochemical composition of white cabbage differs slightly in both varieties and experimental variants. There are deviations only in individual indicators between the control and the treated background up to 7–10 %.

В условиях меняющегося рынка одной из основных задач является обеспечение населения свежей овощной продукцией [1]. По представленным Россельхознадзором данным, импорт овощной продукции в Россию за 2024 г. составил более 1,7 млн т, что выше, чем на 10 % аналогичных показателей прошлых лет. При этом доля капусты белокочанной составляет более 240 тыс. т, основной поставщик которой является Республика Узбекистан. В свою очередь, природно-климатические условия Западной Сибири благоприятны для производства данной культуры, однако производство ее в силу определенных особенностей, как правило, базируется на малообъемном ручном труде в частном секторе. Усугубляет вопрос и отсутствие севооборотов, системы удобрений и существенные нарушения в технологическом процессе, которые способствуют распространению вредителей и болезней, что в комплексе сказывается на недостаточной урожайности и качественных показателях продукции [2–4, 6]. В связи с этим одним из основных направлений исследований будет совершенствование технологии возделывания капусты белокочанной [5]. Для получения высоких показателей урожайности большое значение имеет посевной материал и, в частности, используемый сорт или гибрид. Наряду с этим немаловажное значение имеют агрофизические показатели почвы, температурный режим и особенно система минерального питания.

Белокочанная капуста – это одна из самых потенциально урожайных овощных культур. Ее урожайность и качественные показатели напрямую зависят от уровня минерального питания [7–10]. По данным литературных источников, в среднем для формирования урожайности в 55–60 т/га необходимо от 200 до 500 кг азота, от 20 до 80 кг фосфора и более 250 кг калия [9–11]. Несмотря на все имеющиеся научные данные по нормам внесения минеральных удобрений мнения многих ученых расходятся. В связи с этим целью наших исследований является изучение влияния минеральных удобрений на урожайность и качественные показатели капусты белокочанной.

Цель исследования – изучить влияние азотных удобрений на рост и развитие капусты белокочанной.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2023–2025 гг. на участке плодовоовощеводства учебно-опытного хозяйства «Сад Мичуринцев» Новосибирского ГАУ, расположенного в северной лесостепи Приобья, относящейся к Западно-Сибирскому региону лесостепной зоны страны. Почва опытного участка – темно-серая лесная. Содержание гумуса в пахотном горизонте 4,1–4,7 %, азота нитратного 16–17,5 мг/кг, азота аммиачного 16,2–17,6 мг/кг, подвижного фосфора 196–199 мг/кг (по Ю.И. Чирикову, 1969), обменного калия 182–191 мг/кг почвы. Сумма поглощенных оснований 30,8–49,1 мг-экв. на 100 г почвы, pH солевой 7,2–7,5 (данные ЦАС Новосибирский).

В соответствии с поставленными задачами был заложен следующий опыт: изучение влияния азотных удобрений на рост и развитие капусты белокочанной. Повторность опытах 4-кратная, размещение делянок рендомизированное, площадь делянок – 6 м², учетная – 4 м².

В работе использовалась два голландских гибрида капусты белокочанной (Мегатон F1 и Атрии F1), на которых применяли различные дозы минеральных азотных удобрений производства АО «СДТ» азот, г. Кемерово (аммиачная селитра – NH₄NO₃).

Агротехника в опыте классическая, внесение азотных удобрений перед посадкой с последующей заделкой в почву культиватором. Схема посадки 70×45 см.

Работа велась согласно существующим общепринятым методикам: определение запасов продуктивной влаги: весной, термостатно-весовым методом по Б. Доспехову (1985) [12]; фенологические наблюдения за ростом и развитием растений капусты белокочанной проводили с использованием методики полевого опыта в овощеводстве и бахчеводстве (Белик, 1979; Литвинова, 2011; Доспехов, 1985) [13]; химический анализ плодов проводился физико-химической лабораторией ФГБОУ ВО Новосибирского ГАУ по общепринятым методикам согласно ГОСТу; математическую обработку проводили в программе SNEDEKOR.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенных исследований было установлено, что на элементы структуры урожайности капусты белокочанной значительно влияют природно-климатические условия, уровень минерального питания и сортовые особенности культуры.

Так, наименьшие структурные показатели урожая были отмечены в 2023 г., когда отсутствие осадков и повышенные температуры воздуха даже в условиях орошения отрицательно сказывались на росте и развитии капусты. Средняя масса кочана в данный год исследований уступала показателям 2024–2025 гг. в среднем на 25–30 %, кроме того, в данный год исследований отмеча-

лись выпадения растений как в период высадки рассады в открытый грунт, так и в период вегетации, что впоследствии отрицательно сказывалось на выходе продукции в единицы площади.

Внесение минеральных азотных удобрений положительно сказалось на всех элементах структуры урожая, особенно средних дозах применения. Их использование в сравнении с контролем на 30 % и более повышают размер кочана и в 2–3 раза его массу, что в итоге сказывается на продуктивности культуры в целом (табл. 1).

Максимальные показатели структуры урожая отмечены на гибриде Мегатон F1 при норме внесения NH_4NO_3 – 80 кг/д.в., при которой масса кочана в среднем за три года составляла 7,7 кг, что в два раза выше показателей гибрида Атрия F1.

Таблица 1

Влияние применения азотных удобрений на элементы структуры урожая капусты белокочанной (среднее за 2023–2025 гг.)

The impact of nitrogen fertilizer application on the elements of white cabbage yield structure (average for 2023–2025)

Сорт	Доза удобрений	Высота кочана, см	Диаметр кочана, см	Масса кочана, кг
Атрия F1	Контроль	15,1	15,9	2,2
	NH_4NO_3 – 40	19,2	19,6	2,9
	NH_4NO_3 – 60	19,6	19,9	3,7
	NH_4NO_3 – 80	19,1	19,6	3,9
Мегатон F1	Контроль	17,6	22,4	2,5
	NH_4NO_3 – 40	21,1	28,3	4,2
	NH_4NO_3 – 60	21,9	28,9	6,4
	NH_4NO_3 – 80	29,3	29,1	7,7
НСП 05		1,1	1,8	1,6

Увеличение структурных показателей капусты белокочанной прямо пропорционально сказывается и на урожайности культуры, прибавка

которой в среднем по годам составляла от 30 до 200 % в зависимости от сорта и дозы внесения удобрений (табл. 2).

Таблица 2

Эффективность применения азотных удобрений на капусте белокочанной (среднее за 2023–2025 гг.)

Efficiency of nitrogen fertilizer application on white cabbage (average for 2023–2025)

Сорт	Доза удобрений	Урожайность, м ²	Прибавка по урожайности к контролю, %
Атрия F1	Контроль	8,9	–
	NH_4NO_3 – 40	11,6	30
	NH_4NO_3 – 60	14,9	67
	NH_4NO_3 – 80	15,6	74
Мегатон F1	Контроль	10,2	–
	NH_4NO_3 – 40	16,9	65
	NH_4NO_3 – 60	25,4	149
	NH_4NO_3 – 80	30,6	200
НСП 05		3,1	

В среднем за три года применение азотных удобрений прямо пропорционально влияло на урожайность капусты белокочанной, когда даже минимальные дозы удобрений N_{40} обеспечивают прибавку урожайности на 30 % по гибриду Атрия F1 и 65 % по гибриду Мегатон F1. В то же время максимальные дозы обеспечивают прибавку урожайности уже до 74 и 200 % соответственно.

При проведении исследований было установлено, что биохимический состав капусты белокочанной по сортам и вариантам опыта отличался незначительно. Тем не менее было заметно, что на вариантах с применением азотных удобрений содержание сухого вещества ниже, чем на контроле в среднем на 7–10 % (табл. 3).

Таблица 3

Биохимический состав капусты белокочанной в зависимости от применения азотных удобрений (среднее за 2023–2025 гг.)

Biochemical composition of white cabbage depending on the use of nitrogen fertilizers (average for 2023–2025)

Сорт	Доза удобрений	Сухое вещество, %	Сахар, %	Витамин С, мг/кг	Нитраты, мг/кг
Атрия F1	Контроль	9,9	4,6	41,1	106
	$NH_4NO_3 - 40$	8,9	5,2	44,9	241
	$NH_4NO_3 - 60$	8,8	5,3	51,2	311
	$NH_4NO_3 - 80$	8,8	5,6	51,6	346
Мегатон F1	Контроль	9,1	4,9	43,1	151
	$NH_4NO_3 - 40$	8,6	5,2	52,4	263
	$NH_4NO_3 - 60$	8,6	5,2	52,4	336
	$NH_4NO_3 - 80$	8,5	5,4	52,3	387

Экспериментально установлено, что увеличение дозы удобрений существенного влияния на содержание сухого вещества не оказывало, все результаты здесь были в пределах ошибки опыта. Противоположная ситуация наблюдается по содержанию в кочанах общего сахара и витамина С. Так, применение азотных удобрений способствовало росту данных показателей от 7 до 30 % в зависимости от варианта опыта.

Биохимические показатели сортов также незначительно различались и имели одинаковые тенденции по вариантам опыта, разница составляла не более 5 %.

Одним из важных показателей производства овощной продукции и особенно капусты является содержание нитратов. В наших исследованиях в зависимости от варианта опыта содержание нитратов колебалось от 106 до 385 мг/кг, что существенно ниже предельно допустимой нормы, установленной FAO (500 мг/кг) [14].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Минеральное питание – один из основных регулирующих факторов отрасли овощеводства, обеспечивающих не только повышение урожайности, но и развитие отрасли в целом, так как ее эффективность во многом зависит от применения высоких доз минеральных удобрений.

Потребность в минеральном питании у всех культур индивидуальна. Каждый элемент питания по-своему влияет на рост и развитие растений, но общие принципы для всех культур одни. Наиболее важным элементом питания является азот.

Азот является основным элементом в жизни растений. Благодаря ему происходят все основные биохимические процессы в жизни растений, он – основа формирования вегетативной массы, плодов и их качественных показателей. Азот является основой белка, аминокислот, липидов и ферментов. За счет него идет синтез органических веществ, образуемых в процессе фотосинтеза. Потребность в азоте проявляется в течение всего вегетационного периода [15, 16].

Для получения хорошего урожая капусты необходима разработка рациональной, научно обоснованной системы удобрений [15]. По мнению многих ученых, нормы внесения удобрений под капусту белокочанную очень сильно зависят от ряда факторов, таких как плодородие почвы, уровень агротехники, предшественников и выбора сорта. Например, для получения оптимального урожая капусты на серой лесной почве после зерновых требуется в три раза больше удобрений (N_{120}), чем после многолетних бобовых трав [15, 16]. Однако при применении повышенных доз азотных удобрений необходимо учитывать тот факт, что они могут повлиять на продолжитель-

ность вегетационного периода, что в условиях Сибири может быть критичным.

Нами изучено влияние различных доз азотных удобрений на рост и развитие капусты белокочанной. В результате установлено, что для получения гарантированно высоких урожаев капусты белокочанной в размере 15,6–30,6 кг/м² необходимо внесение аммиачной селитры (NH₄NO₃) в дозе – 60–80 кг д.в./га. Результаты данной работы позволят оптимизировать производственный процесс и увеличить выход продукции.

ВЫВОДЫ

1. Почвенно-климатические условия лесостепной зоны Западной Сибири по приходу

фотосинтетически активной радиации и сумме активных температур достаточны для роста и развития урожайности.

2. Внесение минеральных азотных удобрений положительно сказывается на всех элементах структуры и урожайности в целом. Так, в среднем по годам прибавка урожайности капусты белокочанной составляла от 30 до 200 %.

3. Максимальная урожайность 30,6 кг/м² получена на гибриде Мегатон F1 на вариантах с применением азотных минеральных удобрений в дозе 80 кг д.в./га.

4. Биохимический состав капусты белокочанной по сортам и вариантам опыта отличался незначительно, колебания по отдельным показателям составляли не более 7–10 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петров А.Ф., Холдобина Т.В., Матенькова Е.А. Условия правильного выбора семян // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: сб. тр. науч.-практ. конф. преподавателей, студентов, магистрантов и аспирантов Новосибирского ГАУ, Новосибирск, 16–17 окт. 2017 г. / Новосибирский государственный аграрный университет. Вып. 2. – Новосибирск, 2017. – С. 56–58. – EDN ZVNRV.
2. Дьяконова Р.Н. Технология возделывания среднеспелой белокочанной капусты в условиях Центральной Якутии: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Якутск, 2007. – 23 с. – EDN NJABRT.
3. Вирченко И.И., Янченко Е.В., Борисов В.А. Эффективность применения минеральных удобрений и биокомпоста при возделывании новых отечественных гибридов капусты белокочанной // Картофель и овощи. – 2022. – № 3. – С. 15–18. – DOI: 10.25630/PAV.2022.68.58.002. – EDN BEZQBP.
4. Эффективность применения удобрений при возделывании капусты белокочанной F1 Континент / И.Ю. Васючков, В.А. Борисов, Г.А. Костенко [и др.] // Картофель и овощи. – 2020. – № 1. – С. 15–18. – DOI: 10.25630/PAV.2020.50.79.006. – EDN YUUCPR.
5. Борисов В.А., Меньших А.М. Влияние орошения и удобрений на урожайность и качество капусты белокочанной // Орошаемое земледелие. – 2015. – № 4. – С. 15–16. – EDN YNAGDN.
6. Карова И.А., Шаваев М.А. Влияние минеральных удобрений на накопление нитратов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2006. – № 2. – С. 52–53.
7. Влияние комплексных минеральных удобрений на урожайность и качество капусты белокочанной ранней при разных способах посадки / А.Р. Аксенюк, Ю.М. Забара, А.В. Якимович, Н.В. Мойсевич // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2 (49). – С. 150–159. – EDN MENGJF.
8. Королев А.А. Влияние орошения и удобрений на рост и развитие растений капусты // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2007. – № 2 (6). – С. 104–108. – EDN MRMXEB.
9. Овощеводство открытого грунта / В.И. Алексахин, Р.А. Андреева, Ю.П. Антонов [и др.]; под ред. В.Ф. Белика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1984. – 336 с.
10. Аксенюк А.Р. Особенности приемов возделывания новых сортов и гибридов капусты белокочанной различных групп спелости: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Жодионо, 2010. – 20 с.
11. Ваняян С.С., Вишнякова А.Ф. Удобрение и орошение как факторы влияния на урожай белокочанной капусты // Главный агроном. – 2004. – № 9. – С. 30–33.
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. завед. по агроном. спец. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
13. Методика полевого опыта в овощеводстве и бахчеводстве / науч.-исслед. ин-т овощ. хоз-ва, Укр. науч.-исслед. ин-т овощеводства и бахчеводства; под ред. В.Ф. Белика, Г.Л. Бондаренко. – М., 1979. – 211 с.
14. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов»: постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 9 июня 2009 г., № 63.
15. Петров А.Ф. Научные основы технологии возделывания пасленовых культур в лесостепи Западной Сибири: дис. ... д-ра с.-х. наук. – Махачкала, 2023. – 385 с. – EDN IOUTNK.

16. *Научные основы формирования продуктивности и качества томата* / Т.С. Астарханова, Е.Н. Пакина, Н.Г. Андреева, И.Р. Астарханов. – Махачкала, 2018. – 136 с.

REFERENCES

- Petrov A.F., Kholdobina T.V., Maten'kova E.A., *Aktual'nye problemy agropromyshlennogo kompleksa* (Current issues in the agro-industrial complex), Proceedings of the Conference Title, Vyp. 2, Novosibirsk, 2017, pp. 56–58, EDN ZVNRRV. (In Russ.)
- D'yakonova R.N., *Tekhnologiya vozdel'yvaniya srednespeloy belokochannoy kapusty v usloviyakh Tsentral'noy Yakutii* (Technology of cultivation of mid-season white cabbage in the conditions of Central Yakutia), Abstract of a candidate of sciences dissertation, Yakutsk, 2007, 23 p., EDN NJABRT.
- Virchenko I.I., Yanchenko E.V., Borisov V.A., *Kartofel' i ovoshchi*, 2022, No. 3, pp. 15–18, DOI: 10.25630/PAV.2022.68.58.002, EDN BEZQBP. (In Russ.)
- Vasyuchkov I.Yu., Borisov V.A., Kostenko G.A. [i dr.], *Kartofel' i ovoshchi*, 2020, No. 1, pp. 15–18, DOI: 10.25630/PAV.2020.50.79.006, EDN YUUCPR. (In Russ.)
- Borisov V.A., Men'shikh A.M., *Oroshaemoe zemledelie*, 2015, No. 4, pp. 15–16, EDN YNAGDN. (In Russ.)
- Karova I.A., Shavaev M.A., *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2006, No. 2, pp. 52–53. (In Russ.)
- Aksenyuk A.R., Zabara Yu.M., Yakimovich A.V., Moysevich N.V., *Pochvovedenie i agrokhimiya*, 2012, No. 2 (49), pp. 150–159, EDN MENGJF. (In Russ.)
- Korolev A.A., *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2007, No. 2 (6), pp. 104–108, EDN MRMXEB. (In Russ.)
- Aleksashin V.I., Andreeva R.A., Antonov Yu.P. [i dr.], *Ovoshchevodstvo otkrytogo grunta* (Open-ground vegetable growing), pod red. V.F. Belika, 2-e izd., pererab. i dop., Moscow: Kolos, 1984, 336 p.
- Aksenyuk A.R., *Osobennosti priemov vozdel'yvaniya novykh sortov i gibridov kapusty belokochannoy razlichnykh grupp spelosti* (Features of cultivation techniques for new varieties and hybrids of white cabbage of different maturity groups), Abstract of a candidate of sciences dissertation, Zhodino, 2010, 20 p.
- Vaneyan S.S., Vishnyakova A.F., *Glavnyy agronom*, 2004, No. 9, pp. 30–33. (In Russ.)
- Dospikhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy ob-rabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
- Metodika polevogo opyta v ovoshchevodstve i bakhchevodstve* (Methodology of field experiments in vegetable and melon growing), pod red. V.F. Belika, G.L. Bondarenko, Moscow, 1979, 211 p. (In Russ.)
- Sanitarnye normy, pravila i gigienicheskie normativy «Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu i bezopasnosti prodovol'stvennogo syr'ya i pishchevykh produktov»: postanovlenie Ministerstva zdravookhraneniya Respubliki Belarus'* (Sanitary norms, rules and hygienic standards "Hygienic requirements for the quality and safety of food raw materials and food products": Resolution of the Ministry of Health of the Republic of Belarus), 9 iyunya 2009 g., No. 63. (In Russ.)
- Petrov A.F., *Nauchnye osnovy tekhnologii vozdel'yvaniya paslenovykh kul'tur v lesostepi Zapadnoy Sibiri* (Scientific foundations of cultivation technology of nightshade crops in the forest-steppe of Western Siberia), Makhachkala, 2023, 385 p., EDN IOUTNK.
- Astarkhanova T.S., Pakina E.N., Andreeva N.G., Astarkhanov I.R., *Nauchnye osnovy formirovaniya produktivnosti i kachestva tomata* (Scientific basis for the formation of tomato productivity and quality), Makhachkala, 2018, 136 p.

Информация об авторах:

А.Ф. Петров, доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Р.Р. Галеев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
К.С. Макарова, кандидат сельскохозяйственных наук
О.Н. Колбина, аспирант
Н.А. Петров, студент

Contribution of the authors:

A.F. Petrov, Doctor OF Agricultural Sciences, Associate Professor
R.R. Galeev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
K.S. Makarova, Candidate of Agricultural Sciences
O.N. Kolbina, PhD student
N.A. Petrov, student

Вклад авторов:

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

ФИТОХИМИЧЕСКИЙ СКРИНИНГ РАСТЕНИЙ *HELICHRYSUM ITALICUM*, ВЫРАЩЕННЫХ В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ КРЫМА

О.А. Пехова, Л.А. Тимашева, И.Л. Данилова, И.В. Белова

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Республика Крым, Россия

E-mail: olga.pehova@mail.ru

Для цитирования: Фитохимический скрининг растений *Helichrysum italicum*, выращенных в предгорной зоне Крыма / О.А. Пехова, Л.А. Тимашева, И.Л. Данилова, И.В. Белова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 83–92. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-83-92.

Ключевые слова: растения *Helichrysum italicum*, листья, фаза вегетации, соцветия, стебли, эфирное масло, флавоноиды, сырье эфиромасличное, сырье лекарственное.

Реферат. Бессмертник итальянский (*Helichrysum italicum* (Roth) G. Don) является ценным и перспективным растением для парфюмерно-косметической и пищевой промышленности, фармации и медицины. Цель исследований – провести фитохимический скрининг растений *Helichrysum italicum*, выращенных в предгорной зоне Крыма по содержанию эфирного масла и других видов биологически активных веществ (БАВ) по фазам вегетации и органам растений. Объекты исследований – свежесобранное и воздушно-сухое сырье *H. italicum* (селекционный образец ЕОА-81). Методы исследований – общепринятые. В результате исследований выявлена вариабельность содержания БАВ по фазам вегетации и органам растений. Установлено, что растения *H. italicum* синтезируют в процессе вегетации целый комплекс БАВ: эфирное масло – 0,50–1,49 % на абсолютно сухую массу (а. с. м.); экстрактивные вещества – 22,47–36,79 %; общие фенольные соединения – 2,25–6,26 %, фенолкарбоновые кислоты и флавоноиды – 1,34–5,92 %; дубильные вещества – 0,24–1,34 %. Определено, что основными маслосинтезирующими органами *H. italicum* являются листья и соцветия. Наибольшее количество эфирного масла содержалось в листьях – 2,01 %, а в соцветиях – 1,73 %. Преобладающими компонентами эфирного масла *H. italicum* являлись монотерпеновые углеводороды, сумма которых достигала максимума в фазы начала бутонизации – начала цветения 87,41–92,71 %, при этом преобладал α -пинен: 69,93–76,17 %. Данный селекционный образец ЕОА-81 по компонентному составу эфирного масла относится к α -пиненовому хемотипу. Оптимальным сроком уборки сырья *H. italicum* для получения эфирного масла является фаза полной бутонизации, для которой свойственно наиболее высокое содержание эфирного масла характерного качества. Оптимальным сроком уборки *H. italicum* для получения лекарственного сырья является фаза окончания бутонизации, в которую содержание экстрактивных веществ, общих фенольных соединений, суммы фенолкарбоновых кислот и флавоноидов максимально, и фаза отрастания – для дубильных веществ. Исходя из полученных данных надземную часть растений *H. italicum* можно рекомендовать для использования в качестве эфиромасличного и лекарственного сырья.

PHYTOCHEMICAL SCREENING OF *HELICHRYSUM ITALICUM* PLANTS GROWN IN THE FOOTHILL ZONE OF CRIMEA

О.А. Pekhova, L.A. Timasheva, I.L. Danilova, I.V. Belova

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Republic of Crimea, Russia

E-mail: olga.pehova@mail.ru

Keywords: *Helichrysum italicum* plants, leaves, vegetation phase, inflorescences, stems, essential oil, flavonoids, essential oil raw materials, medicinal raw materials.

Abstract. *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don is a valuable and promising plant for the perfumery, cosmetics, food industry, pharmacy and medicine. The aim of the study is to conduct phytochemical screening of *Helichrysum italicum* plants grown in the foothills of Crimea for the content of essential oil and other types of biologically (BAS) active substances by vegetation phases and plant organs. The objects of study are freshly harvested and air-dried raw materials of *H. italicum* (selection sample EOA-81). The methods of research are generally accepted. The studies revealed variability in the content of BAS by vegetation phases and plant organs. It has been established that *H. italicum* plants synthesize a whole complex of biologically active substances during the vegetation period: essential oil – 0.50–1.49 % on an absolutely dry weight (a. d. m.); extractive substances – 22.47–36.79 %; total phenolic compounds – 2.25–6.26 %, phenolic carboxylic acids and flavonoids – 1.34–5.92 %; tannins – 0.24–1.34 %.

%). It has been determined that the main oil-synthesizing organs of *H. italicum* are leaves and inflorescences. The greatest amount of essential oil was contained in the leaves – 2.01 %, and in the inflorescences – 1.73 %. The predominant components of the essential oil of *H. italicum* were monoterpene hydrocarbons, the sum of which reached a maximum in the phases of the beginning of budding – beginning of flowering 87.41–92.71 % with a predominance of α -pinene 69.93–76.17 %. This selection sample EOA-81, according to the component composition of the essential oil, belongs to the α -pinene chemotype. The optimal time for harvesting *H. italicum* raw materials for obtaining essential oil is the phase of complete budding, which is characterized by the highest content of essential oil of characteristic quality. The optimal time for harvesting *H. italicum* for obtaining medicinal raw materials is the phase of the end of budding, when the content of extractive substances; total phenolic compounds, the sum of phenol carbonic acids and flavonoids is maximum and the regrowth phase – for tannins. Based on the data obtained, the above-ground part of *H. italicum* plants can be recommended for use as essential oil and medicinal raw materials.

Бессмертник итальянский (*Helichrysum italicum* (Roth) G. Don), или цмин итальянский, – это вид цветкового растения семейства *Asteraceae*. Ботанический род *Helichrysum* включает несколько сотен видов, распространенных в Европе и Средней Азии, Евразии, Африке, Австралии и Новой Зеландии. В диком виде растет в Северной Италии, Далмации, Венгрии и на островах Средиземного моря. В России встречается в европейской части, в Западной Сибири, на Кавказе и Крыму. Это растение является ценным и перспективным для парфюмерно-косметической и пищевой промышленности, фармации и медицины. Его перерабатывают различными методами (дистилляция и экстракция) с получением эфирного и абсолютного масел, гидролатов и различных видов экстрактов; фармацевтических препаратов желчегонного действия, стимулирующих желчеотделение, мягко повышающих тонус желчного пузыря и улучшающих метаболизм печени. На лекарственное сырье бессмертника итальянского распространяются ВФС 42-2138-92 (целые цветки) и ВФС 42-2137-92 (резано-прессованные цветки), которое используется для получения целого ряда медицинских препаратов, обладающих антиаллергическим, антиоксидантным, антимикробным, антибактериальным, противовоспалительным, противовирусным и фунгицидным действием [1–4].

Исследования по интродукции и селекции *H. italicum* проводились в Никитском ботаническом саду (зона Южного берега Крыма). Результатом работы стало создание двух сортов этой культуры: ВИМ и Кристалл [5]. ФГБУН «НИИСХ Крыма» также проводит работу по интродукции и селекции бессмертника итальянского в предгорной зоне Крыма. Изучение динамики накопления БАВ в течение вегетационного периода в растениях бессмертника итальянского, выращенных в предгорной зоне Крыма, ранее не проводилось. Экспериментально не обоснованы сроки уборки

сырья для получения эфиромасличной продукции и лекарственного сырья.

Цель исследований – провести фитохимический скрининг растений *Helichrysum italicum*, выращенных в предгорной зоне Крыма по содержанию эфирного масла и других видов БАВ по фазам вегетации и органам растений для комплексного применения в качестве эфиромасличного, лекарственного и пищевого сырья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2022–2024 гг. в лаборатории переработки и стандартизации эфиромасличного сырья ФГБУН «НИИСХ Крыма». Объекты исследований – сырье свежесобранное и воздушно-сухое *H. italicum* (селекционный образец ЕОА – 81), выращенное на экспериментальном участке института (с. Крымская Роза, Белогорский район).

H. italicum в предгорье Крыма представляет собой многолетний полукустарник полудревесневшего типа высотой до 60 см, сильно разветвленный, сероопушенный. Листья очередные, цельнокрайние, мелкие, длиной 2–5 см, шириной 1–2 см, сидячие, войлочно-белоопушенные, с одноклеточными, многоклеточными и железистыми волосками, в которых синтезируется эфирное масло. Корневища короткие, слабоветвистые, снаружи темно-бурые, с тонкими длинными светлыми корнями. Соцветия головчатые, плотные, слабоветвистые, собранные в щиток на верхушке побега, желтого или оранжевого цвета. На одном растении развивается от 300 до 800 соцветий. Цветки сростнолепестные, трубчатые, состоят из пяти лепестков, пяти тычинок и одного пестика. Плод – семянка округлой формы.

В качестве растительного сырья использовалась вся надземная облиственная часть растения, срезанная в разные фазы вегетации. Общий вид растений и сырья *H. italicum* представлен на рис. 1.



а

б

в

Рис. 1. Общий вид растений и сырья *H. italicum* в фазу бутонизации: а – растения в фазу бутонизации; б – свежесрезанное сырье в фазу начала бутонизации; в – свежесрезанное сырье в фазу полной бутонизации

General view of plants and raw materials of *H. italicum* in the budding phase: а- plants in the budding phase; б - freshly cut raw materials in the beginning of budding phase; в- freshly cut raw materials in the full budding phase

Почвенно-климатические условия экспериментального участка института характерны для IV агроклиматического района Крыма – верхнего предгорного, теплого, недостаточно влажного. Климат – умеренно континентальный, среднегодовая температура воздуха составляет 9,8 °С, среднегодовая сумма осадков – 450–500 мм, ГТК – 0,92. Почвы представлены предгорными карбонатными черноземами на элювии и делювии плотных карбонатных пород [6].

Качественные характеристики свежесобранного и воздушно-сухого сырья определяли общепринятыми методами: влажность – гравиметрическим методом, содержание эфирного масла – методом гидродистилляции по Клевенджеру, содержание экстрактивных веществ – методом экстрагирования водно-спиртовым раствором, содержание общих фенольных соединений, фенолкарбоновых кислот и флавоноидов, дубильных веществ – титриметрическим методом. Все результаты исследований представлены в пересчете на абсолютно сухую массу сырья (а.с.м.). Компонентный состав эфирных масел определяли методом газовой хроматографии. Повторность определения содержания БАВ в сырье – 3-кратная. Полученные данные исследований обрабатывали общепринятыми статистическими методами при помощи пакета программ Microsoft Office Excel 2010 [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Вопросы изучения фитохимического скрининга *H. italicum* по фазам вегетации и органам растений, выращенных в предгорной зоне Крыма, являются актуальными. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Структурный анализ растений *H. italicum*, выращенных в предгорной зоне Крыма, в 2022–2024 гг. показал, что надземная часть растений по фазам вегетации имеет следующий фракционный состав: листья (14,9–71,9 %), стебли (23,3–42,7 %) и соцветия (23,4–61,8 %). Соотношение фракций по фазам вегетации менялось, а именно: в фазу отрастания преобладали листья, а в фазу окончания цветения их содержание достигало минимальных значений; содержание соцветий достигало максимума в фазу окончания цветения.

Экспериментально определено, что в условиях предгорной зоны Крыма содержание эфирного масла в растениях в течение вегетационного периода колебалось в пределах 0,50–1,49 %. Изменение содержания эфирного масла в онтогенезе *H. italicum* происходило следующим образом: в процессе развития растений количество эфирного масла увеличивалось начиная с фазы отрастания (0,92 %), достигало максимума в фазу полной бутонизации (1,49 %) и снижалось в фазу цветения (0,50 %).

Таблица 1

Динамика накопления эфирного масла в различных органах растений *H. italicum* по фазам вегетации (2022–2024 гг.)

Dynamics of essential oil accumulation in various organs of *H. italicum* plants by vegetation phases (2022–2024)

Фаза вегетации растений	Органы растений	Фракционный состав, %	Массовая доля, % m/m	
			влаги	эфирного масла (на а. с. м.)
Отрастание	Листья	71,9±0,07	75,7±0,08	0,94±0,02
	Стебли	28,1±0,03	79,3±0,08	–
	Целое	100,0±0,00	76,2±0,08	0,92±0,01
Начало бутонизации	Листья	40,9±0,04	70,0±0,07	1,33±0,03
	Стебли	35,7±0,04	80,5±0,08	–
	Соцветия	23,4±0,03	72,5±0,07	1,45±0,04
	Целое	100,0±0,00	74,0±0,07	1,23±0,02
Полная бутонизация	Листья	32,8±0,04	71,5±0,07	2,01±0,05
	Стебли	42,7±0,04	83,5±0,08	–
	Соцветия	24,5±0,03	78,4±0,08	1,73±0,04
	Целое	100,0±0,00	73,8±0,07	1,49±0,04
Окончание бутонизации	Листья	19,5±0,02	63,0±0,05	1,82±0,05
	Стебли	39,1±0,04	75,0±0,06	–
	Соцветия	41,4±0,05	67,3±0,05	1,03±0,03
	Целое	100,0±0,00	69,8±0,07	1,06±0,03
Начало цветения	Листья	17,1±0,02	68,5±0,07	1,39±0,04
	Стебли	26,9±0,03	71,0±0,07	–
	Соцветия	56,0±0,05	72,0±0,08	0,85±0,02
	Целое	100,0±0,00	69,5±0,07	0,79±0,02
Массовое цветение	Листья	22,1±0,02	59,0±0,06	1,21±0,03
	Стебли	27,9±0,03	65,0±0,06	–
	Соцветия	50,0±0,05	64,5±0,06	0,68±0,01
	Целое	100,0±0,00	65,0±0,07	0,59±0,01
Окончание цветения	Листья	14,9±0,02	52,5±0,05	1,04±0,03
	Стебли	23,3±0,03	63,5±0,06	–
	Соцветия	61,8±0,06	64,5±0,06	0,56±0,01
	Целое	100,0±0,00	60,5±0,05	0,50±0,01
НСР ₀₅ (целое растение)				0,08
НСР ₀₅ (листья)				0,13
НСР ₀₅ (соцветия)				0,10

Полученные данные показали, что основными маслосинтезирующими органами *H. italicum* являются листья и соцветия. На протяжении всего периода вегетации наибольшее количество эфирного масла содержалось в листьях (0,94–2,01 %), меньше в соцветиях (0,56–1,73 %). Стебли содержали лишь следы эфирного масла.

Эфирное масло, полученное из свежесрезанного сырья *H. italicum* методом гидродистилляции

по органолептическим показателям представляло собой легкоподвижную прозрачную жидкость светло-желтого цвета с хвойно-бальзамическим запахом. Физико-химические показатели эфирного масла были следующими: относительная плотность при 20 °С – от 0,900 до 0,920; показатель преломления при 20 °С – от 1,4700 до 1,4850; угол вращения плоскости поляризации света при

20 °С, градус – от минус 2 до 0; кислотное число, мг КОН/г – от 1,0 до 3,0.

В эфирном масле *H. italicum* было определено 37 компонентов, из них идентифицировано 18. Установлено, что химический состав эфирного масла *H. italicum* состоит из следующих основных групп веществ: монотерпеновые углеводороды – α -пинен, камфен, сабинен, лимонен, мирцен,

α и γ -терпинены, р-цимен; сесквитерпеновый углеводород – кариофиллен; терпеновые спирты: линалоол, борнеол, гераниол, α -терпинеол; сложные эфиры: геранилацетат, линалилацетат; оксид: транс-линалоол оксид; кетон: камфора.

Типичная хроматограмма эфирного масла *H. italicum*, полученного из растений в фазу полной бутонизации, представлена на рис. 2.

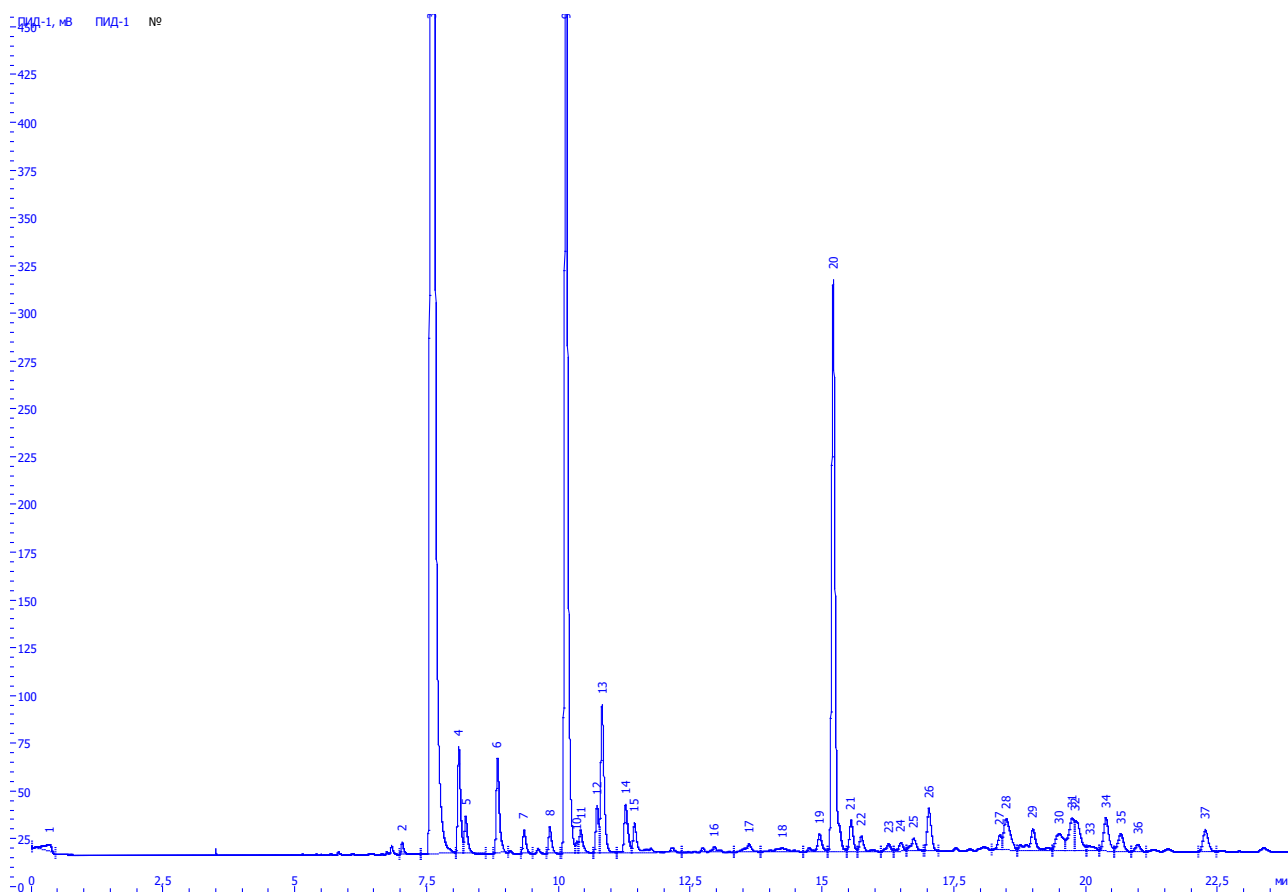


Рис. 2. Типичная хроматограмма эфирного масла *H. italicum* (фаза полной бутонизации), 2023 г.: 3 – α -пинен; 5 – камфен; 6 – сабинен; 7 – мирцен; 8 – α -терпинен; 9 – лимонен; 11 – 1,8-цинеол; 13 – γ -терпинен; 14 – р-цимен; 18 – транс-линалоол оксид; 20 – линалоол; 21 – камфора; 22 – линалилацетат; 25 – кариофиллен; 28 – α -терпинеол; 29 – борнеол; 32 – геранилацетат; 37 – гераниол

Typical chromatogram of essential oil of *H. italicum* essential oil (full budding phase), 2023

Содержание основных компонентов эфирного масла *H. italicum* в течение вегетации представлено на рис. 3. Преобладающими компонентами эфирного масла *H. italicum* являлись монотерпеновые углеводороды, сумма которых достигала максимума в фазы начала бутонизации и начала цветения: 87,41–92,71 %. Из этой группы углеводородов содержание α -пинена было в течение вегетации на уровне 54,04–76,17 % при максимуме в фазы окончания бутонизации и начала цветения (72,46–76,17 %). Содержание лимонена колебалось от 8,65 до 15,09 % с максимумом в фазу полной бутонизации. В течение вегета-

ции содержание терпенового спирта линалоола в эфирном масле было на уровне 6,57–7,04 %. Следует отметить, что компонентный состав эфирного масла из различных органов *H. italicum* был практически идентичен, но менялось их количественное соотношение в течение вегетации. Так, содержание α -пинена в листьях колебалось от 72,5 % в фазу отрастания до 74,44 % в фазу начала цветения, 59,66 % в фазу окончания цветения; в соцветиях – от 70,89 % в фазу начала бутонизации, 81,03 % – в фазу начала цветения и 60,17 % – в фазу окончания цветения.

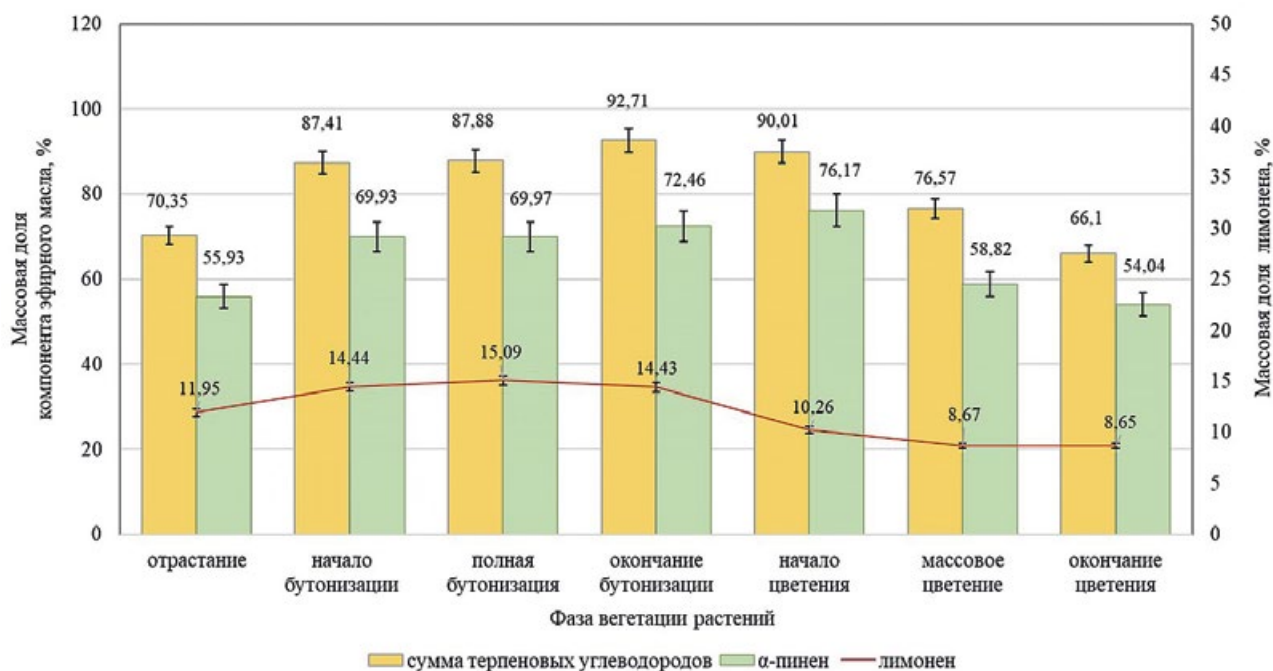


Рис. 3. Содержание основных компонентов эфирного масла *H. italicum* по фазам вегетации (среднее за 2022–2024 гг.)

Content of the main components of *H. italicum* essential oil by vegetation phases (average for 2022–2024)

Исследуемый нами селекционный образец ЕОА-81 ФГБУН «НИИСХ Крыма» по компонентному составу эфирного масла относится к α -пиненовому хемотипу. Благодаря наличию терпеновых углеводородов и спиртов (α -пинен, лимонен и линалоол) эфирное масло *H. italicum* обладает антиоксидантным, противовоспалительным, противомикробным, антибактериальным, антидепрессантным, иммуностимулирующим,

укрепляющим память действием и может применяться в пищевой индустрии, косметических изделиях и фармацевтических препаратах.

С целью оценки сырья в качестве лекарственного было проведено определение содержания биологически активных веществ в воздушно-сухом сырье *H. italicum*, собранном в разные фазы вегетации (табл. 2).

Таблица 2

Биохимические показатели качества воздушно-сухого сырья *H. italicum*, 2022–2024 гг.
Biochemical quality indicators of air-dry raw material of *H. italicum*, 2022–2024

Фаза вегетации растений	Массовая доля, %			
	экстрактивных веществ	общих фенольных соединений	суммы флавоноидов и фенолкарбоновых кислот	дубильных веществ
Отрастание	27,94±0,54	2,69±0,28	1,34±0,14	1,34±0,14
Начало бутонизации	31,68±1,21	4,16±0,29	3,43±0,04	0,73±0,07
Полная бутонизация	29,45±2,10	4,97±0,25	4,74±0,25	0,24±0,02
Окончание бутонизации	36,79±0,33	6,26±0,82	5,92±0,83	0,35±0,01
Начало цветения	28,55±1,24	2,25±0,05	1,80±0,04	0,45±0,01
Массовое цветение	26,03±0,86	3,59±0,20	3,34±0,18	0,25±0,03
Окончание цветения	22,47±0,81	3,88±0,60	3,45±0,34	0,43±0,06

Примечание. Влажность сырья на уровне 7,9–8,9 %, общая зола от 6,32 до 8,22 %; экстрактивные вещества извлекались 70 % водно-спиртовым раствором.

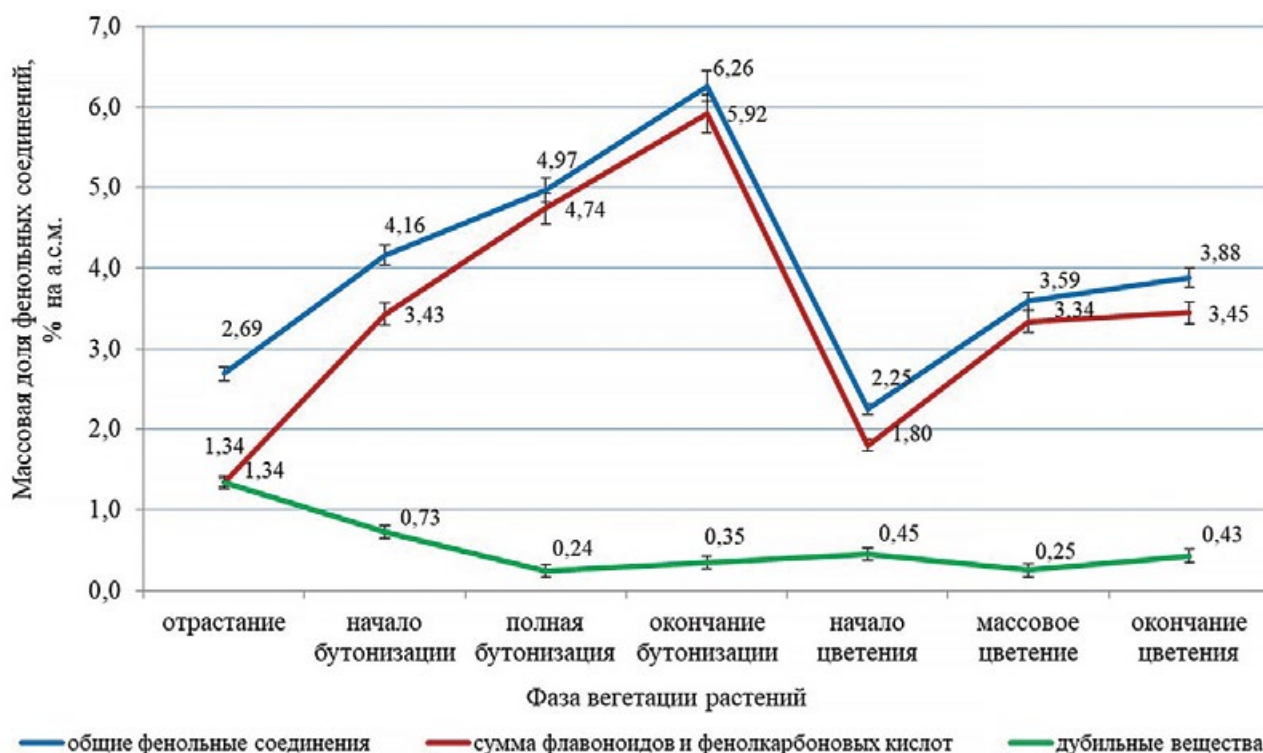


Рис. 4. Динамика накопления фенольных соединений в растениях *H. italicum* (селекционный образец ЕОА-81), 2022–2024 гг.

Dynamics of accumulation of phenolic compounds in *H. italicum* plants (selection form EOA-81), 2022–2024

На рис. 4 представлена динамика накопления фенольных соединений в селекционном образце ЕОА-81 за 2022–2024 гг.

Установлено, что количество экстрактивных веществ, извлекаемых 70%-м водно-спиртовым раствором из воздушно-сухого сырья, находилось в пределах от 22,47 до 36,79 %. Массовая доля общих фенольных соединений в течение вегетационного периода колебалась от 2,25 до 6,26 %, в том числе сумма флавоноидов и фенолкарбоновых кислот – от 1,34 до 5,92 %, дубильных веществ от 0,24 до 1,34 %. Отмечено, что наибольшее количество общих фенольных соединений, в том числе флавоноидов и фенолкарбоновых кислот, синтезировалось в фазу окончания бутонизации, а дубильных веществ – в фазу отращивания.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Фармакологическая активность *H. italicum* напрямую связана с высоким содержанием в нем биологически активных веществ, в частности терпеновой природы. Химический состав растения включает следующие группы веществ: флаванон нарингенин и его пять гликозидов, производные фталевого ангидрида (фталиды); оксикоричные

кислоты (п-кумаровая, кофейная, феруловая и др.), фенолкарбоновые кислоты, кумарин скополетин; эфирное масло; дубильные вещества; свободные аминокислоты; полисахариды. Кроме этого, бессмертник итальянский содержит урсоловую кислоту и ее лактон; бетта-ситостерол, витамины (С, В₁, В₂, Р, РР и К), макро- и микроэлементы (К, Са, Mg, Fe, Cu, Ni, Mn, Mo, Al, Co) [8–10].

Литературные данные о летучих веществах бессмертника итальянского касаются главным образом его эфирного масла и показывают отличие в компонентном составе не только между его видами и хемотипами, но и между образцами различных мест произрастания (географо-экологический фактор). Для бессмертника итальянского характерен высокий полиморфизм, который влияет на качественный состав эфирного масла и содержит различный набор химических веществ с преобладанием нерилацетата (19,5–83,4 %), α-пинена (5,6–53,5 %), γ-куркумена, камфоры, β-селинена, италицена, нерилацетата и ар-куркумена [2, 11–14].

Эфирное масло *H. italicum* обладает бактерицидным действием в отношении золотистого стафилококка, кишечной и туберкулезной палочки, а также грибков рода *Candida*. Отмечается высокая противовирусная активность. В ароматерапии

используются его кровоочищающее, спазмолитическое, обезболивающее, противоаллергическое, противовоспалительное, заживляющее, желчегонное, противогрибковое и мочегонное действие [15, 16]. Эфирное масло используется как ароматический и стабилизирующий компонент (фиксатор запаха) в косметике и парфюмерии [1]. Бессмертник итальянский также издавна применяется для ароматизации напитков и как пряность в кондитерских и хлебобулочных изделиях, а также в качестве натуральных пищевых добавок или консервантов. Потребность в сырье данного вида растений ежегодно растет [10].

Ценные и полезные для здоровья эффекты эфирного масла и других видов БАВ *H. italicum* активно изучаются в разных странах Средиземноморского и Черноморского бассейнов (Корсика, Италия, Венгрия, Босния, Герцеговина, Хорватия, Сербия и Турция) [12, 13, 17].

Анализ литературных данных показал, что состав и содержание различных видов БАВ в растениях *H. italicum* зависит от целого ряда факторов: региона возделывания культуры, почвенно-климатических условий произрастания, хемотипа растений, фазы развития растений, технологий выращивания и переработки, сроков уборки [10, 14, 18].

Экспериментально определено, что в условиях предгорной зоны Крыма содержание эфирного масла в растениях в течение вегетационного периода колебалось в пределах 0,50–1,49 %. Следует отметить, что компонентный состав эфирного масла из различных органов *H. italicum* был практически идентичен, но менялось их количественное соотношение в течение вегетации.

Благодаря наличию терпеновых углеводородов и спиртов (α -пинен, лимонен и линалоол) эфирное масло *H. italicum* обладает антиоксидантным, противовоспалительным, противомикробным, антибактериальным, антидепрессантным, иммуностимулирующим, укрепляющим память действием и может применяться в пищевой ин-

дустрии, косметических изделиях и фармацевтических препаратах.

ВЫВОДЫ

1. Фитохимический скрининг растений *Helichrysum italicum* (селекционный образец ЕОА-81), выращенных в предгорной зоне Крыма, показал, что растения синтезируют в процессе вегетации целый комплекс биологически активных веществ: эфирное масло – 0,50–1,49 % с основным компонентом α -пиненом на уровне 54,04–76,17 %; экстрактивные вещества – 22,47–36,79 %; общие фенольные соединения – 2,25–6,26 %, из них фенолкарбоновые кислоты и флавоноиды – 1,34–5,92 %; дубильные вещества – 0,24–1,34 %. Это позволяет рекомендовать надземную часть растений *H. italicum* для использования в качестве эфиромасличного и лекарственного сырья.

2. Установлено, что оптимальными сроками уборки *H. italicum* для получения эфирного масла является фаза полной бутонизации с максимальным содержанием эфирного масла (1,49 %) характерного качества (α -пинен – 69,97 %).

3. Для получения лекарственного сырья с максимальным содержанием экстрактивных веществ, фенольных соединений, фенолкарбоновых кислот и флавоноидов необходимо проводить заготовку растений *H. italicum* в фазу окончания бутонизации, а дубильных веществ – в фазу отрастания.

4. Исследования показали, что надземная часть *H. italicum* представляет ценность для фармацевтической, эфиромасличной, косметической и пищевой промышленности, а выбор фазы вегетации позволяет целенаправленно получать сырье с определенным биохимическим составом.

Исследования выполнены в рамках реализации государственного задания № FNZW-2022-0009 «Изучение метаболизма перспективного эфиромасличного, масличного и лекарственного сырья и его технологических особенностей для получения целевых биологически активных соединений при переработке».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Войткевич С.А. Эфирные масла для парфюмерии и ароматерапии. – М.: Пищевая промышленность, 1999. – 284 с.
2. *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don: Taxonomy, biological activity, biochemical and genetic diversity / T. Ninčević, M. Grdiša, Z. Šatović, M. Jug-Dujaković // Industrial Crops & Products. – 2019. – Vol. 138. – 10 p. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111487.
3. Chemical profile and antimicrobial activity of the essential oils of *Helichrysum arenarium* (L.) Moench. and *Helichrysum italicum* (Roth.) G. Don. / V.D. Zheljazkov, I. Semerdjieva, E. Yankova-Tsvetkova [et al.] // Plants. – 2022. – Vol. 11 (7). – P. 951. – DOI: 10.3390/plants11070951.

4. *Combination of Chromatographic Analysis and Chemometric Methods with Bioactivity Evaluation of the Antibacterial Properties of Helichrysum italicum Essential Oil* / T. Zeremski, O. Šovljanski, V. Vukic [et al.] // *Science and Technology*. – 2024. – Vol. 13, Is. 6. – P. 499. – DOI: 10.3390/antibiotics13060499.
5. *Аннотированный каталог ароматических и лекарственных растений коллекции Никитского ботанического сада* / Н.В. Марко, Л.А. Логвиненко, О.М. Шевчук, С.А. Феськов. – Симферополь, 2018. – С. 23–24.
6. *Савчук Л.П.* Климат предгорья Крыма и эфиронсы. – Симферополь, 2006. – 76 с.
7. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. завед. по агроном. спец. – М.: Альянс, 2011. – 350 с.
8. *Лукашук С.П., Шевчук О.М.* Фенольные соединения цветков бессмертника итальянского, культивируемого в Никитском ботаническом саду: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Фармацевтическое образование, наука и практика: горизонты развития», посвященной 50-летию фармацевтического факультета КГМУ. – Курск, 2016. – С. 499–501.
9. *Биологически активные вещества надземной массы Helichrysum italicum (Roth) G.Don.* / О.М. Шевчук, С.П. Лукашук, С.А. Феськов [и др.] // *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. – 2019. – Вып. 133. – С. 70–79. – DOI: 10.36305/0513-1634-2019-133-70-79.
10. *Лукашук С.П., Шевчук О.М.* Современное состояние изученности растений рода бессмертник (*Helichrysum*) в мировой флоре // *Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Химия. Биология. Фармация*. – 2025. – № 1. – С. 114–125.
11. *Helichrysum italicum (Roth) G. Don subsp. italicum from Herzegovina: Volatile composition, variations during seasons, total polyphenols, acetylcholinesterase inhibition and antioxidant activity* / S. Talić, A. Odak, A. Martinović Bevanda [et al.] // *Croatica Chemica Acta*. – 2019. – Vol. 92 (1). – P. 69–77. – DOI: 10.5562/cca3475.
12. *Chemodiversity of Helichrysum italicum (Roth) G. Don subsp. italicum essential oils from Bosnia and Herzegovina* / S. Talic, I. Odak, T. Lukic [et al.] // *Fresenius Environ. Bull.* – 2021. – Vol. 30, № 3. – P. 2492–2502.
13. *Seasonal variations in essential oil composition of immortelle cultivated in Serbia* / M. Acimovic, T. Zeremski, O. Šovljanski [et al.] // *Horticulturae*. – 2022. – Vol. 8, Is. 12. – P. 1183. – DOI: 10.3390/horticulturae8121183.
14. *Variations in yields and composition of immortelle (Helichrysum italicum, Roth Guss.) essential oil from different locations and vegetation periods along Adriatic coast* / N. Blažević, J. Petričić, G. Stanic, Ž. Maleš // *Acta Pharmaceutica*. – 1995. – No. 45. – P. 517–522.
15. *Medicinal Properties and in Vitro Biological Activities of Selected Helichrysum Species from South Africa: A Review* / K.A. Akinyede, Ch.N. Cupido, G.D. Hughes [et al.] // *Plants*. – 2021. – Vol. 10, Is. 8. – P. 1566. – DOI: 10.3390/plants10081566.
16. *Helichrysum italicum: Sleeping giant of the mediterranean herbal medicine* / By.G. Appendino, O. Tagliatela-Scafati, A. Minassi [et al.] // *Bio Elicriso*. – 2015. – Is. 105. – 47 p.
17. *Erbaş S., Erdoğan Ü., Mutlucan M.* The scent compounds of immortelle ecotypes (*Helichrysum italicum* (Roth) G. Don.) grown in Türkiye and its new products (absolute and concrete) // *South African Journal of Botany*. – 2023. – Vol. 158. – P. 301–311. – DOI: 10.1016/j.sajb.2023.05.029.
18. *Furlan V., Bren U.* *Helichrysum italicum*: From Extraction, Distillation, and Encapsulation Techniques to Beneficial Health Effects // *Foods*. – 2023. – Vol. 12, Is. 4. – P. 802. – DOI: 10.3390/foods12040802.

REFERENCES

1. *Voitkevich S.A., Ehfirnye masla dlya parfyumerii i aromaterapii* (Essential oils for perfumery and aromatherapy), Moscow: Pishchevaya promyshlennost, 1999, 284 p. (In Russ.)
2. *Ninčević T., Grdiša M., Šatović Z., Jug-Dujaković M., Helichrysum italicum (Roth) G. Don: Taxonomy, biological activity, biochemical and genetic diversity, Industrial Crops & Products*, 2019, Vol. 138, 10 p., DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111487.
3. *Zheljazkov V.D., Semerdjieva I., Yankova-Tsvetkova E., Astatkie T., Stanev S., Dincheva I., Kačániová M., Chemical profile and antimicrobial activity of the essential oils of Helichrysum arenarium (L.) Moench. and Helichrysum italicum (Roth.) G. Don., Plants*, 2022, Vol. 11 (7), pp. 951, DOI: 10.3390/plants11070951.
4. *Zeremski T., Šovljanski O., Vukic V. [et al.], Combination of Chromatographic Analysis and Chemometric Methods with Bioactivity Evaluation of the Antibacterial Properties of Helichrysum italicum Essential Oil, Science and Technology*, 2024, Vol. 13, Is. 6, pp. 499, DOI: 10.3390/antibiotics13060499.
5. *Marko N.V., Logvinenko L.A., Shevchuk O.M., Feskov S.A., Annotirovannyi katalog aromaticeskikh i lekarstvennykh rastenii kolleksii Nikitskogo botanicheskogo sada* (Annotated catalogue of aromatic and medicinal plants from the collection of the Nikitsky Botanical Garden), Simferopol, 2018, pp. 23–24. (In Russ.)
6. *Savchuk L.P., Klimat predgor'ya Kryma i ehfirnosy* (Climate of the Crimean foothills and essential oil plants), Simferopol, 2006, 76 p. (In Russ.)

7. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results), Moscow: Al'yans, 2011, 350 p. (In Russ.).
8. Lukashuk S.P., Shevchuk O.M., *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Farmatsevticheskoe obrazovanie, nauka i praktika: gorizonty razvitiYA», posvyashchennoi 50-letiyu farmatsevticheskogo fakul'teta KGMU*, Proceedings of the Conference Title, 2016, pp. 499–501. (In Russ.).
9. Shevchuk O.M., Lukashuk S.P., Feskov S.A., Adzhiakhmetova S.L., Chervonnaya N.M., Fedotova I.A., *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2019, Is. 133, pp. 70–79, DOI: 10.36305/0513-1634-2019-133-70-79. (In Russ.).
10. Lukashuk S.P., Shevchuk O.M., *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2025, No. 1, pp. 114–125. (In Russ.).
11. Talić S., Odak A., Martinović Bevanda A., Crnjac N., Paštar M., *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don subsp. italicum from Herzegovina: Volatile composition, variations during seasons, total polyphenols, acetylcholinesterase inhibition and antioxidant activity, *Croatica Chemica Acta*, 2019, Vol. 92 (1), pp. 69–77, DOI: 10.5562/cca3475.
12. Talić S., Odak I., Lukic T., Brkljaca M., Bevanda A.M., Lasic A., Chemodiversity of *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don subsp. italicum essential oils from Bosnia and Herzegovina, *Fresenius Environ. Bull*, 2021, Vol. 30, No. 3, pp. 2492–2502.
13. Acimovic M., Zeremski T., Šovljanski O. [et al.], Seasonal variations in essential oil composition of immortelle cultivated in Serbia, *Horticulturae*, 2022, Vol. 8, Is. 12, pp. 1183, DOI: 10.3390/horticulturae8121183.
14. Blažević N., Petričić J., Stanic G., Maleš Ž., Variations in yields and composition of immortelle (*Helichrysum italicum*, Roth Guss.) essential oil from different locations and vegetation periods along Adriatic coast, *Acta Pharmaceutica*, 1995, No. 45, pp. 517–522.
15. Akinyede K.A., Cupido Ch.N., Hughes G.D., Oguntibeju O.O., Ekpo O.E., Medicinal Properties and in Vitro Biological Activities of Selected *Helichrysum* Species from South Africa: A Review, *Plants*, 2021, Vol. 10, Is. 8, pp. 1566, DOI: 10.3390/plants10081566.
16. Appendino By.G., Tagliabata-Scafati O., Minassi A. [et al.], *Helichrysum italicum*: Sleeping giant of the mediterranean herbal medicine, *Bio Elicriso*, 2015, Is. 105, 47 p.
17. Erbaş S., Erdoğan Ü., Mutlucan M., The scent compounds of immortelle ecotypes (*Helichrysum italicum* (Roth) G. Don.) grown in Türkiye and its new products (absolute and concrete), *South African Journal of Botany*, 2023, Vol. 158, pp. 301–311, DOI: 10.1016/j.sajb.2023.05.029.
18. Furlan V., Bren U., *Helichrysum italicum*: From Extraction, Distillation, and Encapsulation Techniques to Beneficial Health Effects, *Foods*, 2023, Vol. 12, Is. 4, pp. 802, DOI: 10.3390/foods12040802.

Информация об авторах:

О.А. Пехова, кандидат сельскохозяйственных наук
 Л.А. Тимашева, кандидат сельскохозяйственных наук
 И.Л. Данилова, научный сотрудник
 И.В. Белова, кандидат сельскохозяйственных наук

Contribution of the authors:

O.A. Pekhova, candidate of agricultural sciences
 L.A. Timasheva, candidate of agricultural sciences
 I.L. Danilova, researcher
 I.V. Belova, candidate of agricultural sciences

Вклад авторов:

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

ВИДОВОЙ СОСТАВ НАСЕКОМЫХ НА ЛИСТВЕННИЦЕ В НАСАЖДЕНИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО СИБИРСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА СО РАН

¹Н.В. Попова, ¹А.А. Зенкова, ²Е.В. Банаев, ¹Д.Ю. Гаврилова, ¹И.В. Чуклин, ¹Н.С. Рейзвих

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: zenkova.biolab@yandex.ru

Для цитирования: Видовой состав насекомых на лиственнице в насаждениях Центрального сибирского ботанического сада СО РАН / Н.В. Попова, А.А. Зенкова, Е.В. Банаев, Д.Ю. Гаврилова, И.В. Чуклин, Н.С. Рейзвих // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 93–100. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-93-100.

Ключевые слова: насекомые-вредители, декоративные растения, зеленые насаждения, энтомофаги, видовой состав.

Реферат. Лиственница (род *Larix* Mill.) – один из ключевых представителей хвойных деревьев в бореальных лесах Сибири, играющих очень важную экологическую и экономическую роль. Формирование энтомофауны, специфичной для лиственницы, в зеленых насаждениях представляет собой область, имеющую научный интерес и требующую изучения. Поэтому целью исследований являлось выявление и определение видового состава вредителей лиственницы в насаждениях Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. В рамках исследований был определен и разделен комплекс фитофагов на вредителей плодов и семян (*Lasiomma laricicola* Karl., *Dioryctria adietella* Denis & Schiffermuller), вредителей хвои (*Diprion pini* L., *Adelges laricis* Vallot.) и вредителей почек (*Dasineura laricis* F. Low.). В результате наших исследований было выявлено, что наиболее распространенными видами являются *Adelges laricis* Vallot., *Dasineura laricis* F. Low., *Diprion pini* L., которые при обследовании были обнаружены более чем на пяти образцах лиственницы разного происхождения (*Larix sibirica* Ledeb., *Larix gmelinii* Rupr., *Larix gmelinii* Rupr., *Larix decidua*, *Larix kampferi*). Редкие особи (*Lasiomma laricicola* Karl.) были обнаружены на двух видах лиственницы: *Larix cajanderi* Mey. и *Larix sibirica* Ledeb. Очень редкий вид фитофага – *Dioryctria adietella* Denis & Schiffermuller – был обнаружен на одном образце *Larix sibirica* Ledeb. В результате исследований выявлены энтомофаги, представители отрядов Coleoptera, Neuroptera, Hymenoptera, Diptera, которые могут быть потенциально использованы для защиты лиственницы от популяций наиболее опасных вредителей. Такое использование будет способствовать сохранению декоративности растений и улучшению эстетического облика насаждений.

SPECIES COMPOSITION OF INSECTS ON LARCH IN THE PLANTINGS CSBG SB RAS (NOVOSIBIRSK)

¹N.V. Popova, ¹A.A. Zenkova, ²E.V. Banaev, ¹D.Yu. Gavrilova, ¹I.V. Chuklin, ¹N.S. Reizvich

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

E-mail: zenkova.biolab@yandex.ru

Keywords: insect pests, decorative plants, green areas, entomophages, specific structure.

Abstract. Larch (genus *Larix* Mill.) is one of the key representatives of coniferous trees in the boreal forests of Siberia, which plays a very important ecological and economic role. The formation of entomofauna specific to larch in green areas is an area of scientific interest and requires study. Therefore, the purpose of the research was to identify and determine the species composition of larch pests in the plantations of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS. As part of the research, a complex of phytophages was identified and divided into pests of fruits and seeds: (*Lasiomma laricicola* Karl., *Dioryctria adietella* Denis & Schiffermuller), pests of needles: (*Diprion pini* L., *Adelges laricis* Vallot.) and pests of kidneys: (*Dasineura laricis* F. Low.). As a result of our research, it was revealed that the most common species are *Adelges laricis* Vallot., *Dasineura laricis* F. Low., *Diprion pini* L., which were found during examinations on more than 5 samples of larch of different origin (*Larix sibirica* Ledeb., *Larix gmelinii* Rupr., *Larix gmelinii* Rupr., *Larix decidua*, *Larix kampferi*). Rare specimens (*Lasiomma laricicola* Karl.) were found on two species of larch *Larix cajanderi* Mey. and *Larix sibirica* Ledeb. A very rare species of phytophagus, *Dioryctria adietella* Denis & Schiffermuller, was found on a single sample of *Larix sibirica* Ledeb.

As a result of the research, entomophages, representatives of the orders Coleoptera, Neuroptera, Hymenoptera, Diptera, have been identified, which can potentially be used to protect larch from populations of the most dangerous pests, contributing to the preservation of decorative plants and improving the aesthetic appearance of plantings.

Вредная энтомофауна зеленых насаждений формируется под воздействием сложной и многообразной среды. Даже на ограниченном пространстве зеленого массива встречается несколько микроклиматических зон, неоднородность лесной подстилки и почвенного покрова, а также различия в видовом составе древесной и травянистой растительности [1]. Насекомые, обладая высокой чувствительностью к изменениям условий обитания, реагируют на малейшие колебания параметров зеленого массива, который, в свою очередь, определяет границы их распространения. В связи с этим для каждого вида вредителя характерно наличие собственных, предпочтительных мест обитания, или стадий. Стадия представляет собой экологическое пространство, характеризующееся определенным режимом условий, который является совокупностью факторов, необходимых для успешного развития и поддержания популяции конкретного вида вредителя [1, 2].

Так, различные древесные породы повреждаются вредителями не одинаково. Это зависит от их устойчивости и числа обитающих на них фитофагов. Например, на дубе встречается около 800 видов насекомых, на тополях – около 700 видов [2]. Лиственные леса заселяются многочисленными полифагами, чья жизнь неразрывно связана с разнообразным сообществом древесных пород и кустарников. Молодые деревья нередко становятся объектами нападения насекомых, изначально обитающих в окружающей их травянистой растительности, откуда они переходят на молодые побеги и листья, нанося ощутимый урон будущему древесному массиву [2].

Энтомофауна хвойных пород деревьев характеризуется высокой степенью специализации, представленной преимущественно олигофагами, адаптированными к питанию ограниченным кругом хвойных растений и не переходящими на лиственные породы. В целом наиболее богата видами фауна сосны, затем ели, пихты и лиственницы. Фауна тиса, туи, кипариса и можжевельника обыкновенного отличается крайне низким видовым разнообразием, что обусловлено специфическими условиями и химическим составом этих хвойных растений [2, 3].

На территории Центрального сибирского ботанического сада СО РАН сформирована достаточно представительная коллекция древесных растений. Генофонд коллекций открытого грунта

насчитывает более 5000 таксономических единиц разного эколого-географического происхождения (Европа, Северная Азия, Восточная Азия, Центральная Азия, Сибирь, Кавказ, Северная Америка) [4]. В составе данной коллекции произрастает лиственница (род *Larix* Mill.) – листопадное хвойное дерево, известное своей морозостойкостью, относительно быстрым ростом. Род *Larix* Mill. включает по разным данным от 10–11 до 20 видов [5]. Обладая высокой пластичностью, лиственница является одной из основных лесообразующих древесных пород [6, 7].

Целью данного исследования было выявление и определение видового состава вредителей лиственницы в насаждениях Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. Изучение фауны вредных насекомых способствует выявлению их естественных врагов – энтомофагов. Это, в свою очередь, позволяет разработать экологически безопасные методы контроля популяций наиболее опасных вредителей, направленные на сохранение декоративности растений и улучшение эстетического облика насаждений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проводили в 2025 г. в насаждениях Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (ЦСБС СО РАН), расположенного на правом берегу Новосибирского водохранилища, в 25 км от центра Новосибирска (54°49'33" с. ш., 83°06'34" в.д.). В исследования были включены растения рода *Larix*, что объясняется их широким ареалом, экологической и практической значимостью в Сибири (табл. 1).

Материалом исследований служили насекомые, собранные в полевых условиях как на стадии личинки, так и на стадии имаго, обитающие на лиственнице, их повреждения и энтомофаги. В период с мая по октябрь регулярно проводились фитосанитарные обследования для сбора необходимого материала. В ходе обследований осуществлялся визуальный анализ вегетативных (побеги, ветви) и генеративных (плоды, стволы) частей растений для выявления признаков повреждения. Для отлова представителей отряда чешуекрылых (Lepidoptera) развешивали феромонные ловушки в середине кроны на периферийные ветки деревьев на высоте не менее 2 м от земли.

Таблица 1

Образцы коллекции видов лиственницы (сем. Pinaceae) в ЦСБС СО РАН
Specimens of the collection of larch species (family Pinaceae) in the Central Siberian Botanical Garden of the
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Род	Вид	Происхождение
<i>Larix</i>	<i>sibirica</i> Ledeb.	Горный Алтай
<i>Larix</i>	<i>sibirica</i> Ledeb.	Новосибирская область, Болотнинский район
<i>Larix</i>	<i>sibirica</i> Ledeb.	г. Красноярск
<i>Larix</i>	<i>sibirica</i> Ledeb.	Горный Алтай, р. Айгулак
<i>Larix</i>	<i>sibirica</i> Ledeb.	Иркутская область
<i>Larix</i>	<i>gmelinii</i> Rupr.	Дальний Восток, г. Свободный
<i>Larix</i>	<i>decidua</i>	г. Горький
<i>Larix</i>	<i>kampferi</i>	г. Москва
<i>Larix</i>	<i>cajanderi</i> Mey.	Приморье

Учеты на модельных ветвях проводили для изучения численности широко распространенных видов, имеющих значительную плотность популяций [8, 9].

Встречаемость хермеса оценивали по шкале: 0 – отсутствует, 1 – единично, 2 – слабо, 3 – умеренно, 4 – сильно, 5 – очень сильно.

Степень заражения лиственничной почковой галлицей оценивалась по результатам подсчета на модельных ветвях брахибластов — укороченных побегов лиственницы и галлов без учета срока их давности. На основании степени зараженности выделяли деревья слабо зараженные (с плотностью от 0 до 0,1); средне зараженные (от 0,1 до 0,5) и сильно зараженные (с плотностью выше 0,5) [10].

Для точного определения видов проводили лабораторные работы, в результате которых ли-

чиночные стадии насекомых содержали в садках с кормом, дорастивая до взрослой особи, чтобы более точно установить видовую принадлежность по имаго с использованием определителей [3, 10–12, 15] и коллекций насекомых кафедры защиты растений Новосибирского ГАУ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На лиственнице в условиях произрастания ЦСБС СО РАН был определен комплекс видов насекомых. В табл. 2 представлены сведения о разнообразии фитофагов. В пределах изучаемой древесной породы фитофагов можно разделить на вредителей плодов и семян (*Lasiomma laricicola* Karl., *Dioryctria adietella* Denis & Schiffermuller), вредителей хвои (*Diprion pini* L., *Adelges laricis* Vallot.) и вредителей почек (*Dasineura laricis* F. Low.).

Таблица 2

Видовой состав насекомых, повреждающих лиственницу в насаждениях ЦСБС СО РАН, 2025 г.
Species composition of insects damaging larch in the plantings of the Central Siberian Botanical Garden
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2025

Образцы лиственницы			Вид вредителя
Род	Вид	Происхождение	
1	2	3	4
<i>Larix</i>	<i>sibirica</i> Ledeb.	Горный Алтай	1. Вредители не обнаружены
<i>Larix</i>	<i>sibirica</i> Ledeb.	Новосибирская область, Болотнинский район	1. Обыкновенный сосновый пилильщик (<i>Diprion pini</i> L.)
			2. Ранний елово-лиственничный хермес (<i>Adelges laricis</i> Vallot.)
			3. Лиственничная почковая галлица (<i>Dasineura laricis</i> F. Low.)
<i>Larix</i>	<i>sibirica</i> Ledeb.	г. Красноярск	1. Шишковая огневка (<i>Dioryctria adietella</i> Denis & Schiffermuller)
			2. Ранний елово-лиственничный хермес (<i>Adelges laricis</i> Vallot.)

1	2	3	4
<i>Larix</i>	<i>sibirica</i> Ledeb.	Горный Алтай, р. Айгулак	1. Обыкновенный сосновый пилильщик (<i>Diprion pini</i> L.)
			2. Лиственничная муха (<i>Lasiomma laricicola</i> Karl.)
			3. Ранний елово-лиственничный хермес (<i>Adelges laricis</i> Vallot.)
<i>Larix</i>	<i>sibirica</i> Ledeb.	Иркутская область	1. Обыкновенный сосновый пилильщик (<i>Diprion pini</i> L.)
			2. Ранний елово-лиственничный хермес (<i>Adelges laricis</i> Vallot.)
			3. Лиственничная почковая галлица (<i>Dasineura laricis</i> F. Low.)
<i>Larix</i>	<i>gmelinii</i> Rupr.	Дальний Восток, г. Свободный	1. Ранний елово-лиственничный хермес (<i>Adelges laricis</i> Vallot.)
			2. Лиственничная почковая галлица (<i>Dasineura laricis</i> F. Low.)
<i>Larix</i>	<i>decidua</i>	г. Горький	1. Обыкновенный сосновый пилильщик (<i>Diprion pini</i> L.)
			2. Ранний елово-лиственничный хермес (<i>Adelges laricis</i> Vallot.)
			3. Лиственничная почковая галлица (<i>Dasineura laricis</i> F. Low.)
<i>Larix</i>	<i>kampferi</i>	г. Москва	1. Ранний елово-лиственничный хермес (<i>Adelges laricis</i> Vallot.)
			2. Лиственничная почковая галлица (<i>Dasineura laricis</i> F. Low.)
<i>Larix</i>	<i>cajanderi</i> Mey.	Приморье	1. Обыкновенный сосновый пилильщик (<i>Diprion pini</i> L.)
			2. Лиственничная муха (<i>Lasiomma laricicola</i> Karl.)
			3. Ранний елово-лиственничный хермес (<i>Adelges laricis</i> Vallot.)

По данным таблицы можно оценить встречаемость особей отдельных видов вредителей на разных видах лиственницы. Очень редкие виды *Dioryctria adietella* Denis & Schiffermuller, встречались на *Larix sibirica* Ledeb., происхождение – г. Красноярск. Редкие особи (*Lasiomma laricicola* Karl.) встречались на двух видах лиственницы *Larix cajanderi* Mey. и *Larix sibirica* Ledeb. (Горный Алтай, р. Айгулак). Часто встречающиеся фитофаги (*Adelges laricis* Vallot., *Dasineura laricis* F. Low., *Diprion pini* L.) при обследовании были

обнаружены более чем на пяти образцах лиственницы.

Наиболее распространенным из сосущих вредителей, повреждающих хвою лиственницы, оказался ранний елово-лиственничный хермес (отряд Hemiptera, семейство Adelgidae). Заражение хвоинок хермесом вызывает хлороз, скручивание или опадение хвоинок, что в итоге может ослабить дерево. Сильное и хроническое заражение может привести к потере листвы, замедлению роста или гибели дерева. Степень заражения фитофагом представлена в табл. 3.

Таблица 3

Встречаемость *Adelges laricis* Vall. на лиственнице, 2025 г.
Occurrence of *Adelges laricis* Vall. on larch, 2025

Род <i>Larix</i>		Степень заражения, балл
Вид	Происхождение	
1	2	3
<i>L. sibirica</i> Ledeb.	Новосибирская область, Болотнинский район	2
<i>L. sibirica</i> Ledeb.	г. Красноярск	2
<i>L. sibirica</i> Ledeb.	Горный Алтай, р. Айгулак	2
<i>L. sibirica</i> Ledeb.	Иркутская область	3
<i>L. gmelinii</i> Rupr.	Дальний Восток, г. Свободный	2

1	2	3
<i>L. decidua</i>	г. Горький	3
<i>L. kampferi</i>	г. Москва	4
<i>L. cajanderi</i> Mey.	Приморье	2

Для полноценного развития данного вредителя необходимо два вида деревьев: ель, на которой хермес образует во время питания галлы и откладывает туда яйца, и лиственница, на которую мигрируют крылатые особи для дальнейшего размножения [13]. Миграция раннего елово-лиственничного хермеса на лиственницу была отмечена начиная с третьей декады июня, она продолжалась до первой декады июля. В

наибольшей степени повреждения этим вредителем были подвержены деревья вида *L. kampferi* (происхождение – г. Москва), а также *L. sibirica* (Иркутская область) и *L. decidua* (г. Горький).

В местах произрастания лиственниц также были выявлены деревья, зараженные лиственничной почковой галлицей (отряд Diptera, семейство Cecidomyiidae). Степень заражения на лиственнице в 2025 г. представлена в табл. 4.

Таблица 4

Степень заражения *Dasineura laricis* на лиственнице, 2025 г.
The extent of *Dasineura laricis* infestation on larch, 2025.

Род <i>Larix</i>		Степень зараженности
Вид	Происхождение	
<i>L. sibirica</i> Ledeb.	Новосибирская область, Болотнинский район	Сильное заражение
<i>L. sibirica</i> Ledeb.	Иркутская область	Сильное заражение
<i>L. gmelinii</i> Rupr.	Дальний Восток, г. Свободный	Сильное заражение
<i>L. decidua</i>	г. Горький	Среднее заражение
<i>L. kampferi</i>	г. Москва	Среднее заражение

Лиственничная почковая галлица имеет одногодичную генерацию. Окукливание личинок происходит весной, как правило, в первой декаде апреля. Появление имаго весной совпадает с началом распускания почек на побегах лиственницы [14, 15]. Лет галлицы в окрестностях ЦСБС СО РАН был отмечен во второй декаде мая.

Единичные кладки яиц обыкновенного соснового пилильщика (отряд Hymenoptera, семейство Diprionidae) на хвое были обнаружены в третьей декаде мая. Самки данного вида откладывают яйца внутри хвои растений [16]. Отрождение личинок наблюдалось во второй декаде июня. Молодые личинки объедали хвою с боков, по мере взросления уничтожали хвоинку целиком. Данный фитофаг питался на пяти модельных видах лиственницы, не вызывая потерю прироста и утрату жизнеспособности растений.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По итогам выполненных в 2025 г. обследований зеленых насаждений ЦСБС СО РАН на лиственницах было отмечено пять видов насекомых-фитофагов, локальная численность популяций и вредоносность которых позволили выявить их стандартными методами энтомо-фитопатологических исследований.

В период проведения исследований и сбора материалов в популяциях фитофага были обнаружены их естественные враги (табл. 5). Насекомые – вредители древесных пород – в больших количествах истребляются хищными и паразитическими насекомыми, получившими общее название энтомофагов [17].

Представители насекомых-энтомофагов на лиственнице, 2025 г.
Representatives of entomophagous insects on larch, 2025.

Систематическое положение энтомофага	Описание
Отряд <i>Coleoptera</i> (Жесткокрылые, жуки) Семейство <i>Coccinellidae</i> (Божьи коровки, кокцинеллиды)	
Хармония изменчивая (<i>Harmonia axyridis</i> Pallas.)	Прожорливые хищники как на стадиях личинки, так и в стадии взрослой особи. Питаются фитофагами: тлей, червецами, хермесом
Отряд <i>Neuroptera</i> (Сетчатокрылые) Семейство <i>Heimerobiidae</i> (Гемеробииды)	
Гемеробиус обыкновенный <i>Heimerobius (Brauerobius) marginatus</i> Stephens.	Прожорливые хищники как на стадиях личинки, так и в стадии взрослой особи. Питаются насекомыми, которые обитают на деревьях: тлей, хермесом и другими мелкими насекомыми с мягким телом
Отряд <i>Hymenoptera</i> (Перепончатокрылые) Семейство <i>Ichneumonidae</i> (Ихневмониды)	
Подсемейство <i>Tryphoninae</i>	Паразиты откладывают хозяина яйца в покровы зрелых личинок пилильщика. Питаются, растут и создают собственные коконы внутри хозяина
Отряд <i>Diptera</i> (Двукрылые) Семейство <i>Tachinidae</i> (Тахины, ежемухи)	
Подсемейство <i>Tachininae</i> , род <i>Tachina</i>	Паразиты питаются внутри хозяина. Молодые личинки питаются гемомифой, личинки старших возрастов мышечной тканью. Ограничивают численности листо- и хвоегрызущих фитофагов

Взаимосвязь энтомофагов и фитофагов на древесных породах представляет собой сложный и динамичный комплекс, оказывающий существенное влияние на регуляцию популяций фитофагов. Взаимосвязь между численностью энтомофага и жертвы характеризуется сложной динамикой. При увеличении популяции насекомых-фитофагов наблюдается пропорциональный рост численности энтомофагов, что, в свою очередь, приводит к сокращению популяции жертв. Вследствие недостатка кормовой базы численность энтомофага снижается, создавая условия для восстановления популяции фитофагов. Этот циклический процесс, известный как колебания численности, играет ключевую роль в поддержании экологического баланса в древесных экосистемах. Такие факторы, как наличие альтернативных источников пищи для энтомофага, микроклиматические условия и структура растительности могут оказывать значительное влияние на стабильность и амплитуду колебаний численности [18].

ВЫВОДЫ

1. В вегетационный период 2025 г. на разных видах лиственницы были обнаружены вредители

плодов и семян (*Lasiomma laricicola*, *Dioryctria adietella*), вредителей хвои (*Diprion pini*, *Adelges laricis*) и вредителей почек (*Dasineura laricis*). Наиболее распространенными видами в зеленых массивах лиственницы оказались *Adelges laricis*, *Dasineura laricis*, *Diprion pini*.

2. Среди хищных насекомых, уничтожающих вредителей лиственницы, были выявлены следующие виды энтомофагов: хармония изменчивая (*Harmonia axyridis*), гемеробиус обыкновенный *Heimerobius (Brauerobius) marginatus* Stephens. Насекомые, паразитирующие на вредителях лиственницы, представлены двумя отрядами: отряд *Hymenoptera* (Перепончатокрылые), семейство *Ichneumonidae* (Ихневмониды) и отряд *Diptera* (Двукрылые), семейство *Tachinidae* (Тахины, ежемухи).

Для проведения исследований использованы материалы биоресурсной научной коллекции Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, «Коллекции живых растений в открытом грунте» USU 440534.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-20150.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесная энтомология: учеб. для студ. образоват. учрежд. высш. образования / Е.Г. Мозолевская, А.В. Селиховкин, С.С. Ижевский [и др.]. – М., 2010. – 416 с.
2. Воронцов А.И. Лесная энтомология: учеб. для студ. лесохоз. спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – М., 1982. – 384 с.
3. Новак В. Атлас насекомых вредителей лесных пород. – Прага, 1974. – 125 с.
4. Растительное многообразие Центрального сибирского ботанического сада СО РАН / Науч. ред. И.Ю. Коропачинский, Е.В. Банаев; Рос. академия наук, Сиб. отд., Центральный сибирский ботанический сад. – Новосибирск, 2014. – 492 с.
5. Фирсов Г.А., Орлова Л.В., Хмарик А.Г. Род лиственница (*Larix* Mill., *Pinaceae*) в ботаническом саду Петра Великого // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 11. Естественные науки. – 2016. – № 1 (15). – С. 6–15.
6. Эколого-биологические аспекты оценки древесных растений в озеленении Новосибирска / С.Х. Вышегуров, А.П. Беланова, Н.В. Пономаренко [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 1. – С. 17–26. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-58-1-17-26.
7. Genetic Adaptation of Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) to High Altitudes / S.V. Novikova, V.V. Sharov, N.V. Oreshkova [et al.] // Int J Mol Sci. – 2023. – № 24 (5). – P. 4530.
8. Дунаев Е.А. Методы эколого-энтомологических исследований. – М., 1997. – 44 с.
9. Инструкция по экспедиционному лесопатологическому обследованию лесов СССР. – М., 1983. – 181 с.
10. Вредители шишек и семян хвойных пород / Г.В. Стадницкий, Г.И. Юрченко, А.Н. Сметанин [и др.] – М., 1978. – 168 с.
11. Ильинский А.И. Определитель вредителей леса. – М., 1962. – 392 с.
12. Болезни и вредители в лесах России: справ. В 3 т. – Т. 3. Методы мониторинга вредителей и болезней леса. – М., 2004. – 200 с.
13. Фирсов Г.А., Варфоломеева Е.А., Хмарик А.Г. Хвойные растения, поражаемые семейством Хермесовые (*Adelgidae*), и меры борьбы с его представителями в Санкт-Петербурге // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. – 2017. – № 4. – С. 473–480.
14. Баранчиков Ю.Н., Третьякова И.Н., Буглова Л.В. Генеративный потенциал деревьев лиственницы сибирской, пораженных почковой галлицей // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. – 2009. – № 5. – С. 134–136.
15. Рожков А., Райгородская И., Бялая И. Вредители лиственницы сибирской. – М.: Наука, 1966. – 328 с.
16. Augustaitis A. Pine sawfly (*Diprion pini* L.) – related changes in Scots pine crown defoliation and possibilities of recovery // Pol. J. Environ. Studies. – 2007. – № 161. – P. 363–369.
17. Белицкая М.Н., Дубровин В.В. Изучение влияния конструкции лесополос на размножение и распределение вредной и полезной энтомофауны // Научная жизнь. – 2013. – № 2. – С. 10–13.
18. Воронцов А.И. Биологические основы защиты леса: учеб. пособие для лесхоз. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1963. – 326 с.

REFERENCES

1. Mozolevskaya E.G., Selixovkin A.V., Izhevskij S.S. [i dr], *Lesnaya e`ntomologiya* (Forest entomology), Moscow, 2010, 416 p.
2. Voronczov A.I., *Lesnaya e`ntomologiya* (Forest entomology), Moscow, 1982, 384 p.
3. Novak V., *Atlas nasekomy`x vreditel'ej lesny`x porod* (Atlas of insect pests of forest species), Praga, 1974, 125 p.
4. *Rastitel`noe mnogoobrazie Central`nogo sibirskogo botanicheskogo sada SO RAN* (Plant diversity of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS), Nauch. red.: I.Yu. Koropachinskij, E.V. Banaev; Rossijskaya akademiya nauk, Sibirskoe otделение, Central`ny`j sibirskij botanicheskij sad, Novosibirsk, 2014, 492 p.
5. Firsov G.A., Orlova L.V., Xmarik A.G., *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta, Ser. 11: Estestvenny`e nauki*, 2016, No. 1 (15), pp. 6–15. (In Russ.)
6. Vy`shegurov S.X., Belanova A.P., Ponomarenko N.V. i dr., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet)*, 2021, No. 1, pp. 17–26, DOI: 10.31677/2072-6724-2021-58-1-17-26. (In Russ.)
7. Novikova S.V., Sharov V.V., Oreshkova N.V., Simonov E.P., Krutovsky K.V., Genetic Adaptation of Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) to High Altitudes, *Int J Mol Sci.*, 2023, No. 24 (5), pp. 4530.
8. Dunaev E.A., *Metody` e`kologo-e`ntomologicheskix issledovanij* (Methods of ecological and entomological research), Moscow, 1997, 44 p.
9. *Instrukciya po e`kspedicionnomu lesopatologicheskomu obsledova-niyu lesov SSSR*, Moscow, 1983, 181 p.
10. Stadniczkij G.V., Yurchenko G.I., Smetanin A.N. i dr., *Vrediteli shishek i semyan xvojny`x porod* (Pests of cones and seeds of conifers), Moscow, 1978, 168 p.

11. Il'inskij A.I. *Opredelitel' vreditelej lesa* (Instructions for the expeditionary forest pathology survey of the forests of the USSR), Moscow, 1962, 392 p.
12. *Bolezni i vrediteli v lesax Rossii. Spravochnik* (Diseases and pests in Russian forests), T. 3, Moscow, 2004, 200 p.
13. Firsov G.A., Varfolomeeva E.A., Xmarik A.G., *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle*, 2017, No. 4, pp. 473–480. (In Russ.)
14. Baranchikov Yu.N., Tret'yakova I.N., Buglova L.V., *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoj vestnik*, 2009, No. 5, pp. 134–136. (In Russ.)
15. Rozhkov A., Rajgorodskaya I., Byalaya I., *Vrediteli listvennicy sibirskoj* (Pests of Siberian larch), Moscow, 1966, 328 p.
16. Augustaitis A., Pine sawfly (*Diprion pini* L.) – related changes in Scots pine crown defoliation and possibilities of recovery, *Pol. J. Environ. Studies*, 2007, No. 161, pp. 363–369.
17. Beliczka M.N., Dubrovin V.V., *Nauchnaya zhizn*, 2013, No. 2, pp. 10–13. (In Russ.)
18. Voronczov A.I., *Biologicheskie osnovy' zashhity' lesa* (Biological foundations of forest protection), Moscow, 1963, 326 p.

Информация об авторах:

Н.В. Попова, аспирант

А.А. Зенкова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Е.В. Банаев, доктор биологических наук, заведующий лабораторией дендрологии ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН

Д.Ю. Гаврилова, специалист ОУП НГАУ

И.В. Чуклин, магистр

Н.С. Рейзвих, магистр

Contribution of the authors:

N.V. Popova, postgraduate student

A.A. Zenkova, candidate of agricultural sciences, associate professor

E.V. Banaev, Doctor of Biological Sciences, Head of the Dendrology Laboratory of the Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

D.Yu. Gavrilova, specialist of the OUP NGAU

I.V. Chuklin, student

N.S. Reizvich, student

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ВЛАЖНОСТИ ТЕМНО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

П.А. Постников, О.В. Васина, П.Ю. Овчинников, М.В. Цепилова

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

E-mail: postnikov.ural@mail.ru

Для цитирования: Влияние режима влажности темно-серой лесной почвы на урожайность яровой пшеницы / П.А. Постников, О.В. Васина, П.Ю. Овчинников, М.В. Цепилова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 101–111. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-101-111.

Ключевые слова: минеральные и органические удобрения, клевер, сидеральный пар, горох, продуктивная влага, корреляционный анализ, гидротермический коэффициент, урожайность.

Реферат. В стационарном двухфакторном опыте в 2011–2020 гг. в условиях Среднего Урала изучен режим влажности темно-серой лесной тяжелосуглинистой почвы в зависимости от вида предшественника яровой пшеницы в севооборотах и фона питания. Увлажненность почвы в пахотном и подпахотных горизонтах во многом зависела от условий предшествующего года и выпадения осадков в зимне-весенний период. Минимальные запасы влаги весной в слое 0–20 см на уровне 21–30 мм отмечены в 2011, 2013 гг., этому предшествовали засушливые условия. Сочетание минеральных и органических удобрений в севооборотах обеспечило достоверное повышение увлажненности пахотного слоя на 4,0–5,8 мм по сравнению с контролем, по отношению к минеральному фону питания – на 1,8–3,1 мм. Данная тенденция сохранилась в период от всходов до колошения. Между запасами влаги в слое 0–20 см в начале вегетации и урожайностью пшеницы установлена прямая зависимость, коэффициент корреляции равнялся 0,626–0,840. Существенных различий по накоплению влаги в пахотном слое между предшественниками не выявлено. За межфазный промежуток от посева до выхода в трубку увлажненность почвы в слое 0–20 см суммарно снизилась на 13–15,0 мм по отношению к периоду посева (29,0–36,4 мм), главным образом за счет испарения воды при открытой поверхности почвенного покрова. На окультуренной темно-серой почве при благоприятных погодных условиях (ГТК – 1,31) возможно получение в контрольном варианте сбора зерна на уровне 3,0 т/га и более. При равномерном распределении осадков на фоне умеренных температур воздуха в течение вегетационного периода в 2017 г. при внесении удобрений достигнута максимальная урожайность пшеницы в пределах 5,45–5,76 т/га, что близко к потенциалу сорта Красноуфимская 100 (6,0 т).

INFLUENCE OF MOISTURE REGIME OF DARK GRAY FOREST SOIL ON SPRING WHEAT YIELD

P.A. Postnikov, O.V. Vasina, P.Yu. Ovchinnikov, M.V. Tsepilova

Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

E-mail: postnikov.ural@mail.ru

Keywords: mineral and organic fertilizers, clover, green manure fallow, peas, productive moisture, correlation analysis, hydrothermal coefficient, yield.

Abstract. In a stationary two-factor experiment in 2011–2020 in the conditions of the Middle Urals, the moisture regime of dark gray forest heavy loamy soil was studied depending on the type of precursor of spring wheat in crop rotations and the nutrition background. Soil moisture in the arable and subarable horizons largely depended on the conditions of the previous year and precipitation in the winter-spring period. Minimum moisture reserves in the spring in the 0–20 cm layer at a level of 21–30 mm were noted in 2011 and 2013, which was preceded by drought conditions. The combination of mineral and organic fertilizers in crop rotations provided a reliable increase in the moisture content of the arable layer by 4.0–5.8 mm compared to the control, in relation to the mineral nutrition background - by 1.8–3.1 mm. This trend persisted during the period from germination to heading. A direct relationship was established between moisture reserves in the 0–20 cm layer at the beginning of the growing season and wheat yield, the correlation coefficient was 0.626–0.840. No significant differences in moisture accumulation in the arable layer were found between the predecessors. During the interphase period

from sowing to tube emergence, soil moisture in the 0–20 cm layer decreased by a total of 13–15.0 mm compared to the sowing period (29.0–36.4 mm), mainly due to water evaporation with an open soil surface. On cultivated dark gray soil under favorable weather conditions (GTC – 1.31), it is possible to obtain a grain harvest of 3.0 t/ha or more in the control variant. With uniform distribution of precipitation against the background of moderate air temperatures during the growing season in 2017, with the application of fertilizers, the maximum wheat yield was achieved in the range of 5.45–5.76 t/ha, which is close to the potential of the Krasnoufimskaya 100 variety (6.0 t).

Яровая пшеница является основной продовольственной культурой в Российской Федерации. Повышение ее продуктивности и реализация потенциала высеваемых сортов во многом зависит от конкретных почвенно-климатических условий и агротехнических приемов возделывания [1–3]. Контрастные климатические условия, в частности количество осадков и их распределение в течение вегетационного периода пшеницы, заметно влияют на уровень ее урожайности [4].

Одним из факторов, определяющих уровень урожайности зерновых культур, является влагообеспеченность почвы. Влагозарядка почвы к весне во многом зависит от запасов почвенной влаги в послеуборочный период предшествующей культуры и количества осенне-зимних осадков [5]. Наиболее активной зоной распределения воды с осадками является слой почвы 0–100 см.

Важным агротехническим приемом, влияющим на запасы продуктивной влаги, является обработка почвы. Установлено, что в зоне с неустойчивым увлажнением обязательно наличие отвальной вспашки в системе обработки почвы [6], которая обеспечивает лучшее усвоение зимне-весенних осадков. В то же время в регионах с недостаточным количеством осадков имеют преимущество в накоплении почвенной влаги безотвальные обработки [7].

Обобщение агроклиматических ресурсов сельскохозяйственных регионов РФ при выращивании яровой пшеницы показало, что на фоне повышения среднесуточных температур дефицит почвенной влаги наблюдается в южных и юго-восточных областях европейской части России [8]. В средних и северных широтах, на Урале и в Сибири доступность влаги имеет разнонаправленный характер, различия в ту или иную сторону не превышают 5 %. Подобные закономерности снижения увлажненности почв при потеплении климата отмечены в других регионах мира [9, 10].

Культуры севооборотов оказывают заметное влияние на накопление запасов почвенной влаги перед посевом и ее доступность в течении вегетации растений [11, 12].

Улучшение агрофизических свойств почвы, в первую очередь снижение плотности почвы за счет рационального применения удобрений, бла-

гоприятно воздействует на влагообеспеченность пахотного слоя [13, 14]. Запашка сидератов в парах способствует повышению влажности почвы по отношению к занятому пару, в особенности в слое 10–20 см [15]. Сочетание сидератов и солом на фоне минеральных удобрений снижало инфильтрацию воды из корнеобитаемого слоя темно-серой почвы на 27–40 % за годичный цикл [16].

Неопределенность, связанная с изменением климата, показывает, что для лучшего понимания воздействия погодных условий на возделывание сельскохозяйственных культур нужны дальнейшие исследования [17]. Поэтому всесторонняя оценка водного режима пахотных земель возможна в длительных опытах. В связи с этим цель исследований – изучить влияние предшественников яровой пшеницы и фона питания на режим влажности темно-серой лесной почвы и установить воздействие влагообеспеченности пахотного слоя на урожайность яровой зерновой культуры.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования проведены в стационарном длительном опыте Уральского НИИСХ – филиала ФГБНУ УрО РАН в течение 2011–2020 гг. Почва на участке темно-серая лесная тяжелосуглинистая, перед закладкой опыта имела следующие агрохимические показатели: рН_{сол.} – 5,06–5,20; гумус – 4,64–4,89 %; легкогидролизруемый азот – 131–151 мг; подвижный фосфор – 206–228 мг и калий – 146–168 мг/кг; гидролитическая кислотность – 4,39–5,93 ммоль и сумма поглощенных оснований – 24,8–25,1 ммоль/100 г почвы.

Закладка двухфакторного опыта проведена по следующей схеме:

– севообороты (фактор А) – зернопаротравяной (чистый пар – озимая рожь – ячмень с подсевом клевера – клевер 1 г.п. – пшеница); сидеральный, без многолетних трав (сидеральный пар – пшеница – овес – горох – ячмень); зернотравяной, бобовые культуры 40 % (горох – пшеница с подсевом клевера – клевер 1 г.п. – ячмень – овес);

зернотравяной, многолетние бобовые травы 40 % (ячмень с подсевом трав – клевер 1 г.п. – клевер 2 г.п. – пшеница – овес);

– фон питания (фактор В) – контроль (без удобрений, Б/у); минеральный – $N_{30}P_{30}K_{36}$ (МФ), в среднем на 1 га севооборотной площади; органо-минеральный – $N_{24}P_{24}K_{30}$ + навоз, сидераты, солома (ОМФ). Для выравнивания баланса калия дополнительно 1 раз за ротацию внесен хлористый калий (K_{30}).

Объектом исследований являлся сорт пшеницы Красноуфимская 100, входящий в Государственный реестр по Северо-Западному, Центральному, Волго-Вятскому, Западно-Сибирскому регионам.

Культуры севооборотов на опытном участке размещались в трехкратной повторности. В первом ярусе распределение полей систематическое, во втором и третьем – рендомизированное. Длина делянки при посеве сельскохозяйственных культур составляла 40 м, ширина – 3,90 м (156 м²). Для внесения удобрений делянка разделена на две субделянки (78 м²). Делянки без удобрений вынесены в отдельный блок.

Минеральные удобрения внесены перед посевом локально сеялкой СН-16. В качестве туков под пшеницу применяли сложное азотно-фосфорно-калийное удобрение в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$.

Запасы продуктивной влаги в почве рассчитывали по формуле [18]:

$$W = 0,1 \times (W_{\phi} - W_3) \times \delta \times h,$$

где W – запасы продуктивной влаги, мм; W_{ϕ} – фактическая полевая влажность почвы, %; W_3 – влажность устойчивого завядания, %; δ – объёмная масса почвы, г/см³; h – толщина слоя почвы, см.

Дисперсионный и корреляционный анализ экспериментальных данных проведен на персональном компьютере по программе Microsoft 2007.

Погодные условия в течение двух ротаций севооборотов имели разнонаправленный характер: в 2012, 2016, 2020 гг. отмечены засушливые условия, гидротермический коэффициент по Селянинову за период май – август в среднем равнялся 0,98; в 2011, 2013, 2017–2018 гг. – умеренно влажные условия (ГТК – 1,31); 2014–2015 гг. и в 2019 г. – избыточно влажные (ГТК – 1,86).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Усредненные данные по запасам влаги в пахотном слое почвы за две ротации севооборотов в период посева свидетельствуют, что, несмотря на многообразие погодных условий в годы исследований, увлажненность слоя 0–20 см была на среднем уровне. В зависимости от фона питания и предшественника запасы почвенной влаги варьировали в пределах от 29,0 до 36,4 мм (рис. 1). Результаты математической обработки данных по влажности пахотного слоя показали, что количество продуктивной влаги мало зависело от предшественника. Существенных различий между ними не выявлено ($НСР_{05} = 1,70$). В то же время гидротермические условия предшествующего года и количество осадков в зимний период оказали заметное влияние на увлажненность слоя 0–20 см. Наименьшее количество почвенной влаги весной отмечено в 2011, 2013 гг., этому предшествовали засушливые условия. Общие запасы продуктивной влаги в пахотном слое в эти годы варьировали в интервале от 21 до 30 мм, что по градации соответствует удовлетворительной увлажненности.

На минеральном фоне доступность почвенной влаги в слое 0–20 см возросла на 1,0–3,8 мм по отношению к контролю. Выявлены достоверные различия по количеству доступной воды в пахотном слое по всем предшественникам за исключением клевера 1 г.п. ($НСР_{05} = 1,47$). В среднем за годы наблюдений наибольшая увлажненность верхнего слоя почвы в период посева обнаружена на органо-минеральном фоне питания, достоверные различия по сравнению с контрольным вариантом составили 4,0–5,8, к минеральному фону – 1,8–3,1 мм.

При анализе данных по влажности почвы в подпахотных горизонтах выявлено, что увлажненность слоя 20–50 см была на уровне 38,1–47,5 мм. Следует отметить, что заметной разницы по запасам продуктивной влаги по всем предшественникам между естественным уровнем плодородия и минеральным фоном питания не обнаружено ($НСР_{05} = 3,14$). Сочетание минеральных и органических удобрений способствовало повышению доступности воды на 5,3–8,3 мм по отношению к другим фонам питания ($НСР_{05} = 3,15$). Исключение составил предшественник клевер 1 г.п., где заметных различий по запасам почвенной влаги между фонами питания не выявлено.

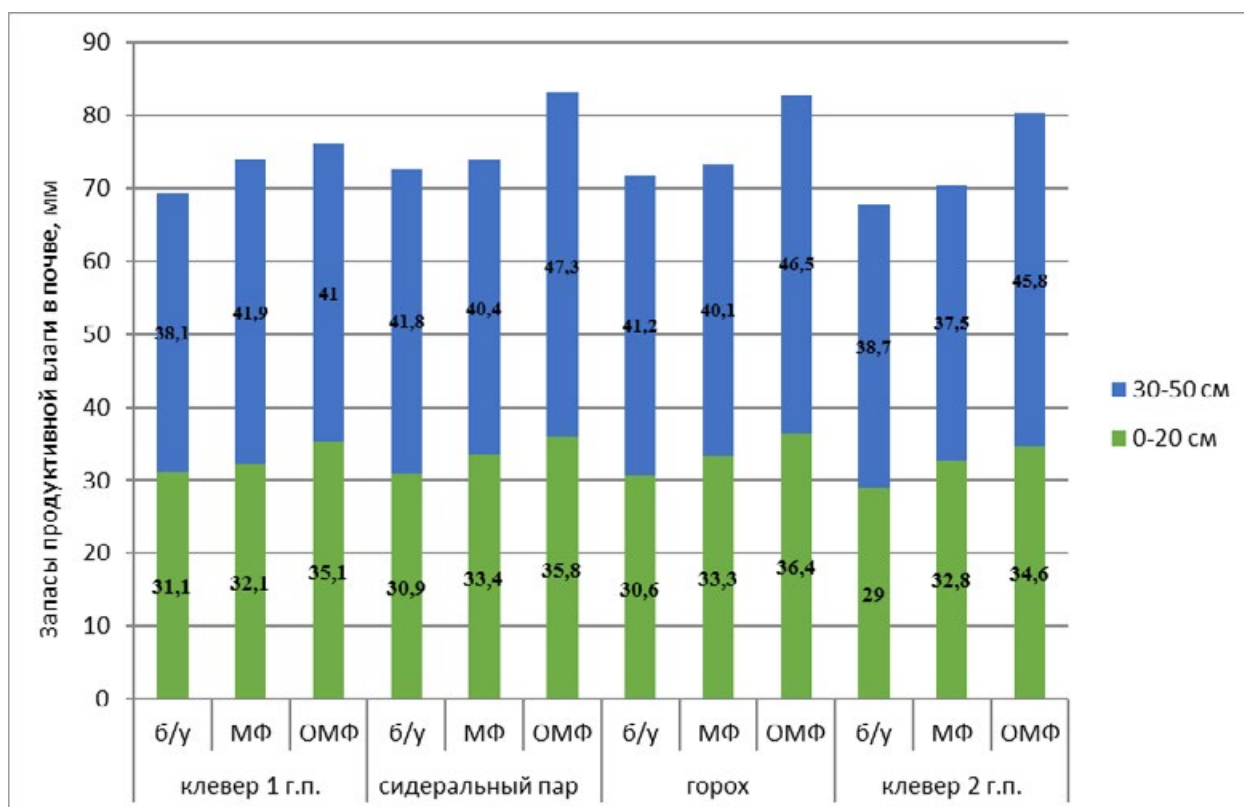


Рис. 1. Запасы доступной влаги в слое 0–50 см в период посева в зависимости от вида севооборота и фона питания, мм, 2011–2020 гг.

Available moisture reserves in the 0–50 cm layer during the sowing period, depending on the type of crop rotation and nutrition background, mm (2011–2020)

В среднем за две ротации севооборотов при размещении пшеницы по хорошим предшественникам запасы продуктивной влаги в слое 0–50 см мало зависели от их вида. Несмотря на многообразие погодных условий в годы наблюдений, влагообеспеченность почвы в данном слое в контроле и на минеральном фоне питания варьировала в пределах от 67,7 до 74,0 мм, что соответствовало удовлетворительной увлажненности. При запашке сидератов и соломы в севооборотах запасы продуктивной влаги в слое 0–50 см возросли на 14–19 % по отношению к контролю и варианту с минеральными удобрениями. В зернопаротравяном севообороте при внесении навоза в дозе 50 т/га в паровом поле его влияние на доступность почвенной влаги на четвертый год последствий ослабевало. Разница по отношению к другим фонам не превышала 2,1–6,9 мм, или 3–10 %.

Корреляционный анализ показал, что между урожайностью пшеницы и запасами продуктивной влаги в слое 0–20 см существует сильная взаимосвязь, коэффициент корреляции был на уровне 0,84, между увлажненностью почвенного

профиля темно-серой лесной почвы глубиной 0–50 см он равнялся 0,65 ед.

В период посева до полных всходов в течение 10–14 дней с открытой поверхности почвы происходило испарение влаги в пахотном слое по сравнению с предыдущей датой отбора образцов. Доступность почвенной влаги в слое 0–20 см в фазу всходов пшеницы варьировала в интервале 22,6–29,6 мм (табл.1). Наибольшее количество продуктивной влаги обнаружено в варианте при сочетании минеральных и органических удобрений. Независимо от вида предшественника влагообеспеченность пахотного слоя темно-серой почвы была выше на 2,7–5,2 мм по отношению к другим фонам питания. В среднем по предшественникам запасы продуктивной влаги в пахотном слое к моменту появления всходов сократились на 6,8–7,5 мм, или 29–30 % по отношению к дате посева яровой пшеницы. Из всех лет наблюдений в период появления всходов максимальные запасы продуктивной влаги на уровне 30 мм и выше отмечены только в 2011, 2015 и 2018 гг.

Динамика содержания почвенной влаги в слое 0–20 см, мм
Dynamics of soil moisture content in the 0–20 cm layer, mm

Предшественник	Фон питания	Фаза развития пшеницы		
		Всходы	Выход в трубку	Колошение
Клевер 1 г.п.	Б/у	22,6	17,3	15,1
	МФ	23,9	18,0	17,0
	ОМФ	27,6	19,8	18,0
Сидеральный пар	Б/у	23,2	17,7	16,1
	МФ	24,8	16,9	14,9
	ОМФ	27,8	19,6	17,0
Горох	Б/у	24,4	18,8	17,1
	МФ	25,7	17,3	16,8
	ОМФ	29,6	21,3	18,1
Клевер 2 г.п.	Б/у	24,4	15,8	15,5
	МФ	27,2	16,9	16,2
	ОМФ	27,1	19,7	18,7
Среднее	Б/у	23,6	17,4	16,0
	МФ	25,4	17,2	16,2
	ОМФ	28,0	20,1	17,9
НСР ₀₅ – предшественник	–	4,16	3,13	3,10
НСР ₀₅ – фон питания	–	3,60	2,71	2,69

К моменту выхода в трубку из-за неполного смыкания рядков зерновой культуры и повышения температуры воздуха происходило дальнейшее испарение влаги из пахотного слоя почвы. Часть почвенной влаги расходовалась растениями, в результате накопленные запасы продуктивной влаги в слое 0–20 см уменьшились до неудовлетворительного уровня увлажненности. Существенных различий по запасам доступной влаги между предшественниками в данную фазу не обнаружено. По-прежнему сохранилось преимущество органоминерального фона питания по доступности почвенной влаги в слое 0–20 см, но достоверные различия по данному показателю выявлены только по предшественнику «горох» по отношению к минеральному фону питания. При размещении пшеницы по предшественнику «клевер» 2 г.п. существенная разница отмечена по сравнению с контролем и вариантом с применением одних минеральных удобрений. В целом потери почвенной влаги в фазу выхода в трубку по отношению к предыдущей дате отбора в среднем составили 6,2–7,9 мм.

Несмотря на интенсивное потребление доступной воды растениями в период «выход трубки – колошение» на формирование надземной

биомассы, темпы потерь запасов продуктивной влаги из пахотного слоя заметно снизились. В среднем по предшественникам по сравнению с предыдущей фазой развития пшеницы они составили 1,0–2,2 мм, или 6–10 %. Выпадение осадков в большинстве лет исследований во второй половине июня позволило снизить расход продуктивной влаги из слоя 0–20 см. При сочетании минеральных и органических удобрений достоверное превышение запасов доступной воды выявлено по клеверам по отношению к естественному уровню плодородия темно-серой лесной почвы.

В целом можно отметить, что несмотря на неудовлетворительную увлажненность пахотного слоя темно-серой почвы в фазы выхода в трубку и колошение, количество продуктивной влаги на уровне 15 мм и выше не оказалось критичным для роста и развития яровой пшеницы сорта Красноуфимская 100. Эту закономерность отмечали другие исследователи [11]. В то же время в 2012 и 2016 гг. доступность воды в период выхода в трубку – колошение ниже 10 мм оказывала негативное влияние на уровень продуктивности пшеницы.

Корреляционный анализ показал, что между запасами продуктивной влаги в пахотном слое и

урожаем пшеницы существует положительная связь. Наибольший коэффициент корреляции (r) на уровне 0,626 был в фазу всходов пшеницы, в последующие фазы (выход в трубку – колошение) зависимость между данными показателями снижалась с 0,424 до 0,382. Другими авторами установлено, что в июне и июле зависимость между урожаем пшеницы и почвенными запасами влаги заметно ослабевает, а в августе она даже отрицательная [17].

В годы наблюдений выявлена прямая зависимость запасов продуктивной влаги и влагообеспеченности вегетационного периода пшеницы (рис. 2). В среднем за годы наблюдений за период от всходов до колошения наименьшая увлажнен-

ность пахотного слоя отмечена при засушливых условиях ($\Gamma\text{ТК} > 1,0$), она соответствовала неудовлетворительному состоянию. При более равномерном распределении осадков в начале вегетации, несмотря на интенсивное водопотребление на формировании биомассы пшеницы, запасы почвенной влаги в зависимости от фона питания варьировали в пределах от 21 до 25 мм. Избыток влаги при $\Gamma\text{ТК} - 1,86$ привел к дальнейшему увеличению запасов продуктивной влаги в слое 0–20 см на 4–5 мм. Между величиной гидротермического коэффициента и доступностью влаги существует тесная прямая зависимость, r равнялся 0,603.

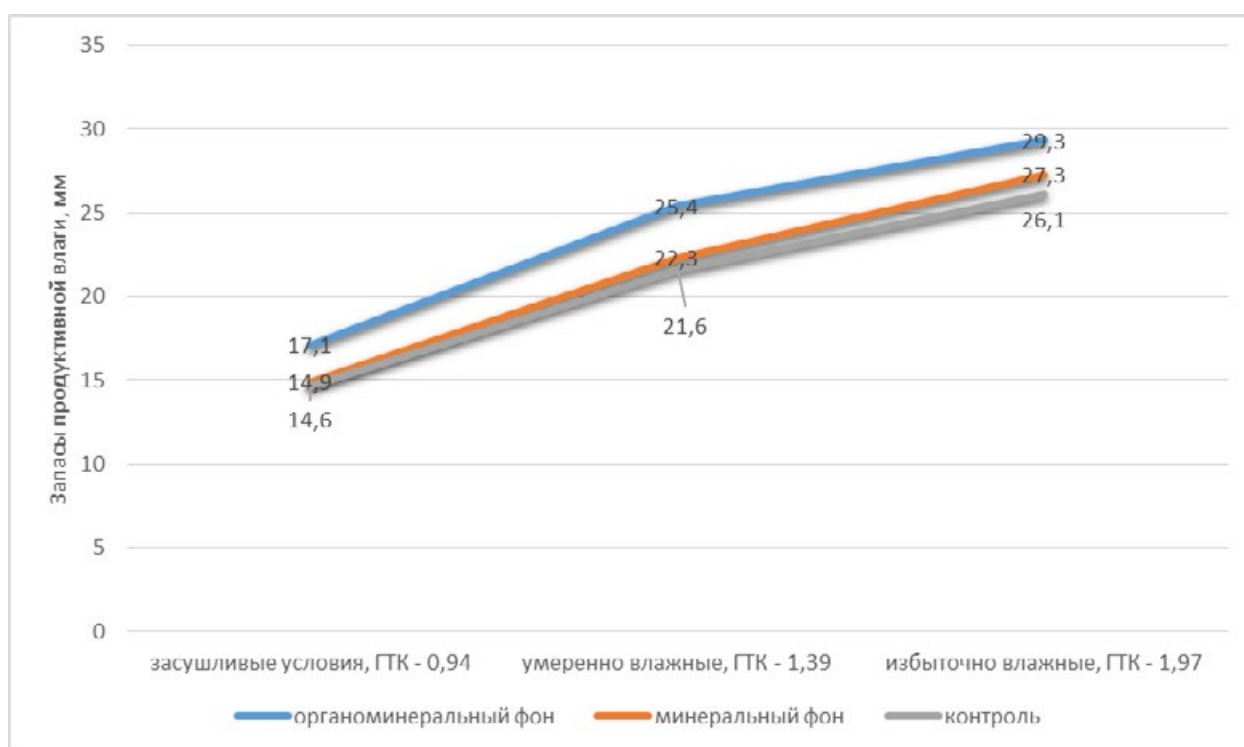


Рис. 2. Обеспеченность влагой в слое 0–20 см за период всходы – колошение в зависимости от гидротермических условий, мм (2011–2020 гг.)

Moisture content in the 0-20 cm layer during the germination –earing period, depending on hydrothermal conditions, mm (2011–2020)

Усредненные данные по урожаю пшеницы показали, что в контрольном варианте наибольший сбор зерна получен после сидерального пара (табл. 2). Предшественники горох и клевер 2 г.п. по влиянию на урожайность пшеницы достоверно уступали на 0,21–0,27 т/га, по пласту клевера 1 г.п. разница между предшественниками была в пределах наименьшей существенной разницы.

Независимо от вида предшественника внесение удобрений в севооборотах обеспечило

достоверные прибавки зерна по отношению к естественному фону плодородия на уровне 0,88–1,16 т/га. По уменьшению отдачи от минеральных удобрений и их сочетаний с органическими предшественники можно расположить в следующем порядке: клевер 1 г.п. > сидеральный пар > клевер 2 г.п. > горох. Сидеральный пар как предшественник по сбору зерна на обоих фонах питания превосходил горох и клевер на 0,28–0,33 т/га.

Таблица 2

Урожайность яровой пшеницы в севооборотах в зависимости от предшественника и фона питания, т/га (2011–2020 гг.)
Yield of spring wheat in crop rotations depending on the predecessor and nutrition background, t/ha (2011–2020)

Предшественник	Фон питания	Усредненная урожайность	Размах варьирования	Коеф. вариации, %
Клевер 1 г.п.	Б/у	2,50	1,11–4,20	33,9
	МФ	3,49	1,57–5,54	44,2
	ОМФ	3,52	1,83–5,76	45,3
Сидеральный пар	Б/у	2,65	1,64–4,10	28,0
	МФ	3,64	1,95–5,45	44,4
	ОМФ	3,65	1,86–5,67	46,2
Горох	Б/у	2,44	1,55–3,65	30,3
	МФ	3,32	1,69–4,63	38,1
	ОМФ	3,31	1,74–4,63	37,4
Клевер 2 г.п.	Б/у	2,38	1,26–3,66	30,7
	МФ	3,35	1,93–4,98	39,9
	ОМФ	3,42	1,89–4,99	41,4
НСР ₀₅ предшественник	–	0,16	–	–
НСР ₀₅ фон питания	–	0,14	–	–

Из всех лет наблюдений минимальные урожаи пшеницы, независимо от фона питания, получены в 2012 г., они в большинстве вариантов не превышали 2,0 т/га. Наибольший сбор зерна достигнут в 2017 г. при размещении пшеницы по клеверу и сидеральному пару, он в контроле был на уровне 4,1–4,2 т, на фоне $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 5,45–5,54 т, на органоминеральном фоне питания – 5,67–5,76 т/га. Систематическое применение удобрений в севооборотах в оптимальных дозах по основным элементам при равномерном выпадении осадков в течение вегетации растений позволило приблизиться к потенциальной урожайности сорта Красноуфимская 100 (6,0 т/га).

Расчеты коэффициента вариации свидетельствуют, что яровая пшеница довольно чувствительна к изменению условий увлажнения в течение вегетационного периода и усвоению элементов питания из почвы и удобрений. Его значения на естественном уровне плодородия почвы в среднем по предшественникам составили около 30,7 %, на удобренных фонах питания – 41,6–42,6 %.

Анализ урожайных данных яровой пшеницы за две ротации севооборотов показал, что при

благоприятных погодных условиях (гидротермический коэффициент – 1,14–1,64) на окультуренной темно-серой лесной почве с повышенным содержанием основных элементов питания даже в контроле возможно получение урожайности пшеницы в среднем на уровне 3,0 т/га (рис. 3). В годы с высокими температурами воздуха в период «всходы – колошение» выявлено снижение сбора зерна на 1,27 т/га по сравнению с умеренно увлажненными условиями в течение вегетации растений.

При избыточном количестве осадков в период «всходы – созревание зерна» отмечено уменьшение урожайности яровой пшеницы на естественном уровне плодородия на 0,61 т/га по отношению к благоприятным гидротермическим условиям. Негативное воздействие на урожаи зерновой культуры при ГТК – 1,86 в основном обусловлено ухудшением условий для минерализации растительных остатков и вымыванием нитратного азота из почвенного профиля [16]. В результате доступность минерального азота для растений в течение вегетации заметно снижается.

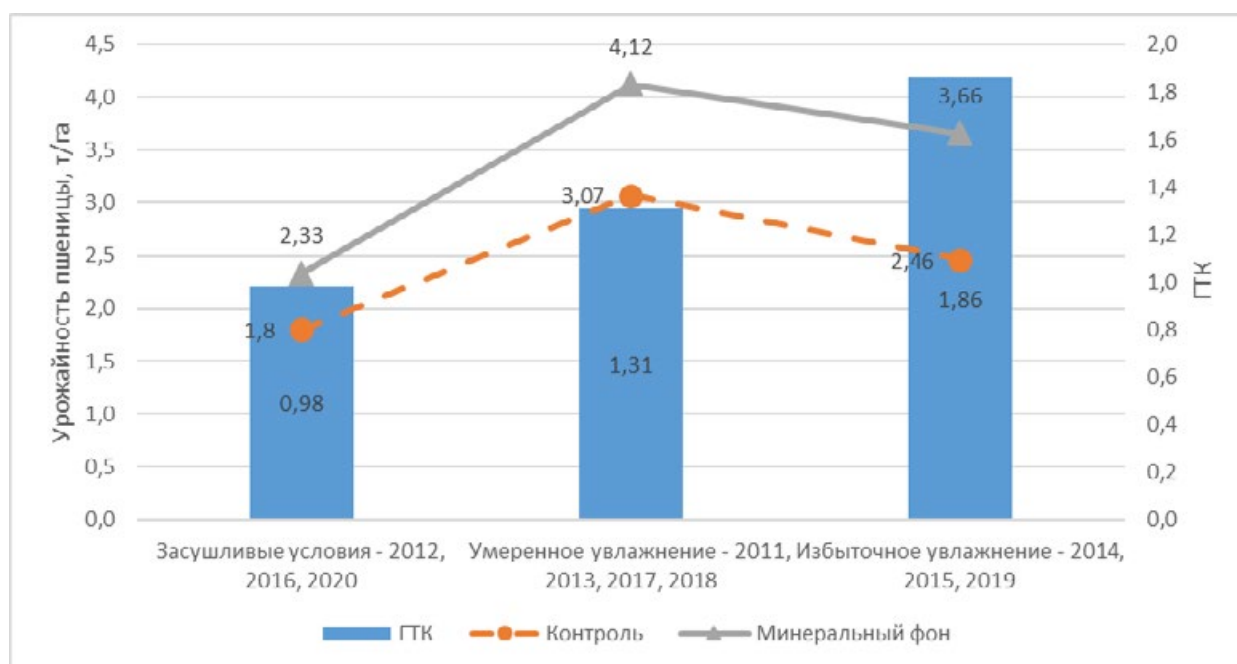


Рис. 3. Усредненная урожайность яровой пшеницы в зависимости от гидротермического коэффициента, т/га (2011–2020 гг.)

Average yield of spring wheat depending on the hydrothermal coefficient, t/ha (2011–2020)

Применение минеральных удобрений позволило снизить негативное влияние неблагоприятных гидротермических условий на урожайность пшеницы. При засушливых условиях прибавки зерна в среднем составили 0,53 т/га по сравнению с контрольным вариантом. В то же время при избыточном увлажнении почвы в течение вегетационного периода урожайность пшеницы на минеральном фоне питания возросла на 1,20 т/га, т.е. отдача от внесенных элементов питания с удобрением была даже выше, чем в благоприятные по увлажнению годы. Аналогичные тенденции зависимости урожайности яровой пшеницы от величины ГТК в период «всходы – уборка» выявлены на органоминеральном фоне питания.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В современных условиях, когда происходит повышение среднегодовой температуры воздуха, в том числе в течение вегетационного периода, значимую роль приобретают технологии выращивания яровой пшеницы, направленные на накопление и сбережение почвенной влаги [3]. Выбор рациональной обработки почвы [6] для конкретных почвенно-климатических условий позволяет поддерживать относительно оптимальный уровень влагообеспеченности яровой пшеницы в течение ее вегетации [12].

Главную роль в формировании уровня влагообеспеченности пахотного и подпахотных гори-

зонтов перед посевом яровых зерновых культур играют атмосферные осадки, выпадающие осадки в послеуборочный период и в течение зимы. Исследования в двух ротациях севооборотов показали, что наибольшие запасы почвенной влаги в слое 0–50 см выявлены в весенний период на органоминеральном фоне питания, они равнялись 75–83 мм, что выше на 14–19 % по отношению к другим фонам. Это согласуется с данными других авторов [15].

В пахотном слое максимум продуктивной влаги выявлен в период посева, который в большинстве лет исследований соответствовал средней обеспеченности (30–35 мм). В последующем за счет испарения с поверхности почвы и усвоения воды в процессе формирования биомассы растений в отдельные годы содержание почвенной влаги снижалось до 8–12 мм. В годы с избытком осадков (ГТК выше 1,8) влагообеспеченность слоя 0–20 см восстанавливалась до весеннего уровня. Установлена прямая положительная связь между осадками и запасами влаги, коэффициент корреляции равнялся 0,603.

Наряду с влагообеспеченностью пахотного слоя существенное воздействие на продуктивность яровой пшеницы оказывало место размещения ее в севообороте. Установлено, что на естественном фоне плодородия и на удобренных фонах питания сидеральный пар по влиянию

на урожайность пшеницы превосходил клевер и горох.

Расчеты коэффициентов вариации показали, что яровая пшеница в процессе вегетации чувствительна к изменению влагообеспеченности в пахотном слое. В среднем за две ротации севооборотов ее урожайность в зависимости от фона питания варьировала от 30,3 до 42,6 %, наибольшие значения отмечены при применении удобрений. Об этом свидетельствовали другие авторы [17].

*Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования по теме № 0532-2021-0002.

ВЫВОДЫ

1. Сочетание минеральных и органических удобрений достоверно повысило увлажненность почвенного профиля 0–50 см до 80,1–83,1 мм, или на 14–19 % по отношению к другим фонам питания. Существенных различий по влиянию предшественников на доступность почвенной влаги не выявлено.

2. В межфазный промежуток от посева до всходов яровой пшеницы, независимо от предшественника и фона питания, потери влаги в слое 0–20 см составили 6,8–7,5 мм, от всходов до выхода в трубку – 6,2–7,9 мм, главным образом за счет испарения воды при повышении температуры воздуха и почвы. В последующих фазах развития растений при достаточном количестве атмосферных осадков, несмотря на интенсивный расход воды на формирование надземной био-

массы, потери продуктивной влаги в пахотном слое уменьшились на 6–10 % по отношению к предыдущей дате отбора почвенных образцов.

3. Между урожайностью пшеницы и запасами почвенной влаги в слое 0–20 см в период от посева до всходов выявлена средняя сопряженность ($r = 0,840–0,626$). В последующие фазы развития пшеницы связь между ними ослабевала. Установлена прямая зависимость между величиной ГТК и запасами продуктивной влаги в период от всходов до колошения, коэффициент корреляции равнялся 0,603.

4. По воздействию на урожайность пшеницы сидеральный пар достоверно превосходил горох и клевер 2 г.п.: в контроле прибавки зерна составили 0,21–0,24 т, при применении удобрений – 0,28–0,33 т/га.

5. При недостаточном увлажнении почвы на фоне повышенных температур воздуха урожайность яровой пшеницы в среднем за годы исследований в контроле была на уровне 1,8 т, на минеральном фоне питания прибавки урожая составили 0,53 т/га. В условиях умеренного увлажнения сбор зерна возрос до 3,07 т, применение одних минеральных удобрений увеличило урожайность яровой зерновой культуры на 1,05 т/га по сравнению с контролем. При избытке атмосферных осадков из-за ухудшения гидротермических условий для процесса нитрификации в пахотном слое урожайность пшеницы снизилась в контроле на 0,61 т, на минеральном фоне питания – на 0,46 т/га. Запашка сидератов и соломы на фоне минеральных удобрений обеспечили примерно одинаковый уровень урожайности пшеницы с минеральным фоном питания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Muller L.M., Bahn M. Drought legacies and ecosystem responses to subsequent drought // *Global Change Biology*. – 2022. – Vol. 28. – P. 5086–5103. – DOI: 10.1111/gcb.16270.
2. Изменение погодных условий на Среднем Урале и их воздействие на урожайность яровой пшеницы / П.А. Постников, В.В. Попова, П.Ю. Овчинников [и др.] // *Достижения науки и техники АПК*. – 2023. – Т. 37, № 3. – С. 4–9. – DOI: 10.53859/02352451_2023_37_3_4.
3. Байкалова Л.П., Серебренников Ю.Н. Хозяйственно-биологическая оценка сортов яровой пшеницы в условиях Красноярской лесостепи // *Вестник НГАУ (Новосибирского государственного аграрного университета)*. – 2024. – № 2 (71). – С. 5–14. – DOI: 10.31672072-2024-71-2-5-14.
4. Stability of wheat grain yields over three field seasons in the UK / J. Pennacchi, E. Carmo-Silva, P. Andralojc [et al.] // *Food and Energy Security*. – 2018. – Vol. 8 (2). – P. e00147. – DOI: 10.1002/fes3.147.
5. Тарасова Л.Л. Долгосрочный прогноз увлажнения метрового слоя почвы весной // *Агрофизика*. – 2021. – № 1. – С. 33–38. – DOI: 10.25695/AGRPH.2021.01.06.
6. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А. Влияние систем обработки на агрофизические параметры темно-серой лесной почвы в Северном Зауралье // *Земледелие*. – 2023. – № 1. – С. 27–31. – DOI: 10.24412/0044-3913-2023-1-27-31.
7. Власов В.Г., Захарова Л.Г., Никифоров С.Г. Влияние элементов технологии на водопотребление и эффективность возделывания яровой мягкой пшеницы // *Аграрный научный журнал*. – 2021. – № 9. – С. 13–18. – DOI: 10.28983/asj2021i9pp13-18.

8. Павлова В.Н., Караченкова А.А. Оценка изменений климатически обусловленной урожайности яровой пшеницы в земледельческой зоне России // *Фундаментальная и прикладная климатология*. – 2020. – № 4. – С. 68–87. – DOI: 10.1513/2410-8758-2020-4-68-87.
9. *Model-based reconstruction and projectons of soil moisture anomalies and crop losses in Poland* / M. Piniewski, P. Marcinkowski, J. O’Keeffe [et al.] // *Theor Appl Climatol*. – 2020. – № 140 (1). – P. 691–708. – DOI: 10.1007/s00704-020-03106-6.
10. *Envisioning present and future land-use change under varying ecological regimes and their influence on Landscape stability* / M. Prokopova, L. Salvati, O. Cudlin [et al.] // *Sustainability*. – 2019. – Vol. 11 (7). – P. 4654. – DOI: 10.3390/su11174654.
11. Свечников А.К., Замятин С.А. Динамика продуктивной влаги в дерново-подзолистой почве при возделывании ярового ячменя // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2024. – Т. 25, № 6. – С. 1112–1123. – DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.6.1112-1123.
12. Зенкина К.В., Асеева Т.А. Формирование урожайности яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Приамурья // *Вестник КрасГАУ*. – 2024. – № 12. – С. 19–25. – DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-19-25.
13. Shaheb M.R., Shearer S.A., Venkatesh R. A review on the effect of soil compaction and its management for sustainable crop production // *J. Biosyst. Eng.* – 2021. – Vol. 46, № 4. – P. 417–439. – DOI: 417-439. DOI: 10.1007/s42853-021-00117-7.
14. Конищев А.А., Гарифуллин И.И., Конищева Е.Н. Анализ приемов повышения продуктивности зерновых культур для снижения межгодовой вариации их урожайности // *Агрохимия*. – 2024. – № 2. – С. 95–100. – DOI: 10.31857/80002188124020118.
15. Чулков В.А., Чаналда Т.Л. Оценка влияния сидератов на биологические свойства чернозема оподзоленного в звене полевого севооборота // *Аграрный вестник Урала*. – 2021. – № 4 (207). – С. 55–63. – DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-4-55-63.
16. *Лизиметрические исследования на Среднем Урале* / Н.Н. Зезин, Л.П. Огородников, П.А. Постников [и др.]. – Екатеринбург, 2020. – 252 с.
17. Дмитриев Н.Н. Корреляционная зависимость величины урожая зерновых культур в зернопаровом севообороте от гидротермического коэффициента и содержания нитратного азота в почве // *Вестник ИРГСХА*. – 2024. – № 124. – С. 49–58. – DOI: 1051215/1999-3765-2024-124-49-58.
18. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследований физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

REFERENCES

1. Müller L.M., Bahn M., Drought legacies and ecosystem responses to subsequent drought, *Global Change Biology*, 2022, Vol. 28, pp. 5086–5103, DOI: 10.1111/gcb.16270.
2. Postnikov P.A., Popova V.V., Ovchinnikov P.Y. [et al.], *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2023, Vol. 37, No. 3, pp. 4–9, DOI: 10.53859/02352451_2023_37_3_4. (In Russ.)
3. Baykalova L.P., Serebrennikov Yu.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta)*, 2024, No. 2 (71), pp. 5–14, DOI: 10.31672072-2024-71-2-5-14. (In Russ.)
4. Pennacchi J.P., Carmo-Silva E., Andralojc P.J. [et al.], Stability of wheat grain yields over three field seasons in the UK, *Food and Energy Security*, 2018, Vol. 8 (2), pp. e00147, DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.147>.
5. Tarasova L.L., *Agrofizika*, 2021, No. 1, pp. 33–38, DOI: 10.25695/AGRP.2021.01.06. (In Russ.)
6. Perfiliev N.V., Vyushina O.A., *Zemledelie*, 2023, No. 1, pp. 27–31, DOI: 10.24412/0044-3913-2023-1-27-31. (In Russ.)
7. Vlasov V.G., Zakharova L.G., Nikiforov S.G., *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*, 2021, No. 9, pp. 13–18, DOI: 10.28983/asj2021i9pp13-18. (In Russ.)
8. Pavlova V.N., Karachenkova A.A., *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, 2020, No. 4, pp. 68–87, DOI: 10.1513/2410-8758-2020-4-68-87. (In Russ.)
9. Piniewski M., Marcinkowski P., O’Keeffe J. [et al.], Model-based reconstruction and projectons of soil moisture anomalies and crop losses in Poland, *Theoretical and Applied Climatology*, 2020, Vol. 140, pp. 691–708, DOI: 10.1007/s00704-020-03106-6.
10. Prokopova M., Salvati L., Egidi G., Cudlin O. [et al.], Envisioning present and future land-use change under varying ecological regimes and their influence on Landscape stability, *Sustainability*, 2019, Vol. 11 (17), pp. 4654, DOI: <https://doi.org/10.3390/su11174654>.
11. Svechnikov A.K., Zamyatin S.A., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2024, Vol. 25, No. 6, pp. 1112–1123, DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.6.1112-1123. (In Russ.)
12. Zenkina K.V., Aseeva T.A., *Vestnik KrasGAU*, 2024, No. 12, pp. 19–25, DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-19-25. (In Russ.)

13. Shaheb M.R., Venkatesh R., Shearer S.A., A review on the effect of soil compaction and its management for sustainable crop production, *Journal of Biosystems Engineering*, 2021, Vol. 46, pp. 417–439, DOI: 10.1007/s42853-021-00117-7.
14. Konishchev A.A., Garifullin I.I., Konishcheva E.N., *Agrokhimiya*, 2024, No. 2, pp. 95–100, DOI: 10.31857/80002188124020118. (In Russ.)
15. Chulkov V.A., Chapalda T.L., *Agrarnyj vestnik Urala*, 2021, No. 4 (207), pp. 55–63, DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-4-55-63. (In Russ.)
16. Zezin N.N., Ogorodnikov L.P., Postnikov P.A. [et al.], *Lizimetricheskie issledovaniya na Srednem Urale* (Lysimetric studies in the Middle Urals), Ekaterinburg, 2020, 252 p.
17. Dmitriev N.N., *Vestnik IrGSKHA*, 2024, No. 5 (124), pp. 49–58, DOI: 1051215/1999-3765-2024-124-49-58. (In Russ.)
18. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., *Metody issledovanij fizicheskikh svoystv* (Methods of research of physical properties), Moscow: Agropromizdat, 1986, 416 p.

Информация об авторах:

П.А. Постников, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

О.В. Васина, младший научный сотрудник

П.Ю. Овчинников, младший научный сотрудник

М.В. Цепилова, младший научный сотрудник

Contribution of the authors:

P.A. Postnikov, Candidate of Agricultural Sciences, leading research fellow

O.V. Vasina, Junior Researcher

P.Yu. Ovchinnikov, Junior Researcher

M.V. Tsepilova, Junior Researcher

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

РАЗРАБОТКА СОРТОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ НОВОГО СОРТА ЯРОВОГО РАПСА ДЛЯ УСЛОВИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

^{1,2}Т.А. Садохина, ^{2,3}В.П. Данилов, ²А.Ф. Петров, ⁴О.А. Познахарева, ¹К.Е. Денисов

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий

Российской академии наук, Краснообск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

³Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

⁴Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Красноярск, Россия

E-mail: sadohina78@yandex.ru

Для цитирования: Разработка сортовой технологии нового сорта ярового рапса для условий Западной Сибири / Т.А. Садохина, В.П. Данилов, А.Ф. Петров, О.А. Познахарева, К.Е. Денисов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 112–119. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-112-119.

Ключевые слова: яровой рапс, урожайность, срок посева, норма высева, структура.

Реферат. По биоклиматическому потенциалу и почвенным условиям территория Западной Сибири подходит для возделывания рапса ярового. В 2024–2025 гг. проведены исследования по разработке основных элементов сортовой технологии возделывания нового сорта ярового рапса 00-типа Ладный комплексного направления использования в условиях лесостепной зоны Западной Сибири. Продолжительность вегетационного периода у сорта Ладный в условиях лесостепи на 2–4 дня короче, чем у сортов СибНИИК 198 и Сибирский, и составляет от 103 до 105 дней. Отрастание боковых побегов начинается от основания главного побега, нижние междоузлия укорочены, что увеличивает устойчивость растений к полеганию. Элементы технологии отрабатывались в условиях изменяющегося климата в умеренно теплом, недостаточно увлажненном агроклиматическом районе Западной Сибири. Показатели влаго- и теплообеспеченности в годы исследований сильно различались, но в целом были приемлемы для роста и развития растений рапса. Представлены результаты исследований по изучению влияния сроков, норм высева, способов посева ярового рапса СибНИИК 198, Ладный и Сибирский на урожайность и элементы ее структуры в условиях лесостепной зоны Западной Сибири. Выявлено влияние параметров технологии, метеорологических условий вегетационного периода и особенностей сорта на урожайность семян. Максимальная урожайность зерна сорта Ладный формируется при посеве во второй-третьей декадах мая (14,1–14,5 ц/га) при рядовом и широкорядном способах посева с нормой высева 1,0–1,5 млн/га. И в среднем за два года исследований по урожайности семян сорт Ладный превышает стандарт (сорта СибНИИК 198 и Сибирский) на 21 %. Цель исследований – разработать основные приемы сортовой технологии возделывания ярового рапса Ладный в условиях лесостепной зоны Западной Сибири.

DEVELOPMENT OF A NEW VARIETY OF SPRING CANOLA FOR THE CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA

^{1,2}T.A. Sadokhina, ^{2,3}V.P. Danilov, ²A.F. Petrov, ⁴O.A. Poznakhareva, ¹K.E. Denisov

¹Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnology Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia

²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

³Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

⁴Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: sadohina78@yandex.ru

Keywords: spring rapeseed of type 00, yield, sowing time, seeding rate, structure.

Abstract. According to the bioclimatic potential and soil conditions, the territory of Western Siberia is suitable for growing spring rapeseed. In 2024–2025, research was conducted to develop the main elements of the varietal technology for growing the new variety of spring rapeseed 00-type Ladny for comprehensive use in the forest-steppe zone of Western Siberia. The vegetation period of the Ladny variety in the forest-steppe zone

is 2–4 days shorter than that of the SibNIUK 198 and Sibirskiy varieties, and ranges from 103 to 105 days. The growth of lateral shoots begins from the base of the main shoot, and the lower internodes are shortened, which increases the plants' resistance to lodging. The elements of the technology were tested in a changing climate in a moderately warm, insufficiently humid agro-climatic region of Western Siberia. The moisture and heat availability indicators varied greatly during the research years, but were generally acceptable for the growth and development of rapeseed plants. The article presents the results of studies on the influence of sowing dates, seeding rates, and methods of sowing spring rapeseed varieties SibNIIM 198, Ladny, and Sibirskiy on yield and its structure elements in the forest-steppe zone of Western Siberia. The influence of technology parameters, meteorological conditions of the growing season, and the characteristics of the variety on seed yield has been revealed. The maximum grain yield of the Ladny variety is achieved when sown in the second and third decades of May (14.1–14.5 centners per hectare) using the row and wide-row sowing methods with a seeding rate of 1.0–1.5 million seeds per hectare. On average, over the two years of research, the seed yield of the Ladny variety exceeds the standard (the SibNIUK 198 and Siberian varieties) by 21 %. The purpose of the research is to develop the basic techniques of varietal cultivation of spring rapeseed in the forest-steppe zone of Western Siberia.

Рапс, благодаря универсальности его использования, становится культурой с гарантированным рынком сбыта, которая востребована во всем мире [1]. В семенах ярового рапса содержится 40–50 % жира и 20–28 % кормового белка [2], который может использоваться на кормовые цели при откорме телят и в качестве белковой добавки для крупного рогатого скота [3]. Перед селекционерами стоит задача создания сортов, адаптированных к контрастным климатическим условиям. Снижение плодородия почвы из-за недостатка минерального питания, негативные антропогенные факторы ведут к снижению урожайности и качества семян сельскохозяйственных культур. В настоящее время основными направлениями наращивания производства семян рапса в России является расширение его посевных площадей и повышение урожайности, которая в среднем по РФ остается на уровне 9,7–12,3 ц/га [4]. Однако необходимо отметить, что большинство современных сортов рапса ярового имеет высокий потенциал урожайности – до 35–40 ц/га, который реализуется только наполовину [5, 6].

На наш взгляд, одним из важных факторов развития отрасли рапсоводства являются современные сорта, которые должны обеспечивать высокую и стабильную урожайность в зоне районирования. Так, для лесостепной зоны Западной Сибири сорта ярового рапса должны обладать улучшенными характеристиками: устойчивостью к засухе, морозам, болезням или вредителям, а также высокой продуктивностью в определенных климатических условиях [7]. При этом остро встает вопрос о выборе оптимальной технологии, которая позволит увеличить урожайность и масличность культур с единицы площади [8]. Один из критериев получения высокого урожая семян любой культуры – оптимальная густота стояния растений. Норма высева оказывает существенное

влияние на продуктивность рапса независимо от зоны возделывания [9]. Не меньшее значение при возделывании рапса имеет способ высева. В связи с этим необходимо регулировать норму высева и выбирать оптимальный способ посева. Разработка эффективных адаптивных элементов технологии возделывания ярового рапса на семена, включающие нормы высева, сроки и способы посева с учетом почвенно-климатических условий региона является важнейшим направлением увеличения урожайности [10].

Цель исследований – разработать основные приемы сортовой технологии возделывания нового сорта ярового рапса Ладный в условиях лесостепной зоны Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2024–2025 гг. в полевых опытах на стационаре Сибирского НИИ кормов СФНЦА РАН, расположенном в северной лесостепи Приобья Новосибирской области. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый. Содержание в слое 0–20 см гумуса среднее (5,4–5,9 % по Тюрину), нитратного азота высокое (29,8–31,5 мг/кг), подвижного фосфора от среднего до повышенного (27,7–46,1 мг/кг по Николовой), обменного калия от высокого до очень высокого (275–326 мг/кг по Масловой), pH водная 6,4–6,8.

По климатическим ресурсам – это умеренно теплый, недостаточно увлажненный агроклиматический район. Среднегодовое количество осадков составляет 350–450 мм, из них 254 мм в теплый период года (апрель – сентябрь), за июнь – август выпадает 113–130 мм. Гидротермический коэффициент по Селянину в период с температурой воздуха выше 10 °C составляет 1,0–1,2.

Сумма положительных температур выше +10 °С составляет в среднем 1880 °С с отклонениями по годам от 1500 до 2250 °С.

Условия вегетационного периода 2024 г. были нетипичными для зоны проведения исследований. В течение вегетационного периода выпало 434 мм осадков (ГТК за май–сентябрь 2,15), сумма активных температур выше +10 °С за период с мая по сентябрь составила 2011 °С. Вегетационный период 2025 г. был более типичен: выпало 205 мм осадков, сумма температур выше +10 °С за период с мая по сентябрь составила 1995 °С, (ГТК за май–сентябрь 1,02).

В опыте изучались нормы высева, сроки и способы посева, средства интенсификации ярового рапса сорта Ладный, обеспечивающие минимальную засоренность и максимальную урожайность. Дана сравнительная оценка семенной и кормовой продуктивности в лесостепной зоне Западной Сибири. Посев проводился во второй и третьей декадах мая (два срока посева) по пару. Сравнивали сорта рапса – СибНИИК 198, Ладный и Сибирский, посеянные нормами высева 1,0; 1,5 и 2,0 млн/га рядовым (15 см) и широкорядным (60 см) способами. Повторность в опыте 4-кратная. Расположение вариантов систематическое. Агротехника – общепринятая для зоны проведения исследований. Посевная и учетная площадь делянок 60 м². Результаты исследований статистически обработаны методом дисперсионного анализа с использованием программы SNEDEKOR.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Урожайность семян – интегральный показатель при возделывании рапса. Так, за два года исследований урожайность семян рапса под влиянием агротехнических приемов изменялась следующим образом: у сорта СибНИИК 198 от 6,5 до 13,4 ц/га, Сибирский – от 6,2 до 14,7 ц/га, Ладный – от 7,4 до 17,0 ц/га. В среднем за два года в наших исследованиях у сорта Ладный урожайность была на 21 % выше, чем контрольных сортов. В условиях переувлажненного и теплого вегетационного периодов при посеве во II декаде мая (первый срок посева) при рядовом и широкорядном способах посева наблюдался минимальный уровень урожайности изучаемых сортов, от 5,2 до 10,7 ц/га (в среднем 7,7 ц/га). При посеве в III декаде мая (второй срок посева) этот показатель увеличился до 10,7 ц/га, или на 38 %. Необходимо отметить, что условия вегетации 2024 г. в лесостепной зоне Западной Сибири были неблагоприятными для рапса, ГТК мая – 2,4, июня – 1,9, июля – 1,13, погода была жаркая и влажная. В 2025 г. условия были более благоприятными. При первом сроке посева урожайность рапса в среднем составила 11,5 ц/га, что на 49 % выше, чем в 2025 г., при посеве во второй срок 12,8 ц/га, что на 20 % выше предыдущего года. В среднем за два года средняя урожайность сортов рапса при посеве в ранний срок составила 9,6 ц/га, в более поздний срок – на 23 % выше, или 11,8 ц/га (табл. 1).

Таблица 1

Урожайность семян сортов ярового рапса при различных сроках посева
в 2024–2025 гг., ц/га
Seed yield of spring rape varieties at different sowing dates in 2024–2025, c/ha

Вариант	Срок посева					
	2-я декада мая			3-я декада мая		
1	2	3	4	5	6	7
Рядовой посев						
	2024 г.	2025 г.	Среднее	2024 г.	2025 г.	Среднее
СибНИИК 198 (1 млн)	7,6	11,4	9,5	12,1	8,6	10,4
Ладный (1 млн)	10,7	14,0	12,4	13,2	13,0	13,1
Сибирский (1 млн)	7,5	14,7	11,1	9,3	11,4	10,4
СибНИИК 198 (1,5 млн)	8,2	13,4	10,8	11,4	11,9	11,7
Ладный (1,5 млн)	9,5	12,7	11,1	12,9	15,3	14,1
Сибирский (1,5 млн)	6,2	9,7	8,0	8,8	10,9	9,9
СибНИИК 198 (2 млн)	6,5	11,5	9,0	10,2	11,6	10,9
Ладный (2 млн)	9,7	14,3	12,0	12,3	13,4	12,9
Сибирский (2 млн)	7,5	9,4	8,5	8,5	10,9	9,7

1	2	3	4	5	6	7
Широкорядный посев						
	2024 г.	2025 г.	Среднее	2024 г.	2025 г.	Среднее
СибНИИК 198 (1 млн)	7,7	12,0	9,9	10,6	11,7	11,2
Ладный (1 млн)	9,7	13,4	11,6	12,7	13,9	13,3
Сибирский (1 млн)	6,4	9,6	8,	9,1	12,7	10,9
СибНИИК 198 (1,5 млн)	6,8	10,6	8,7	11,1	12,6	11,9
Ладный (1,5 млн)	7,4	11,2	9,3	11,9	17,0	14,5
Сибирский (1,5 млн)	5,6	9,4	7,5	8,9	14,3	11,6
СибНИИК 198 (2 млн)	7,8	10,7	9,3	9,9	13,2	11,6
Ладный (2 млн)	8,6	10,7	9,7	11,5	15,0	13,3
Сибирский (2 млн)	5,2	9,7	7,5	9,0	13,5	11,3
НСР ₀₅	2,1	1,9		1,5	2,9	

При рядовом способе посева в ранний срок в среднем за два года исследований максимальный выход семян получен у сорта Ладный – 12,4 ц/га при минимальной норме высева 1,0 млн/га, что на 20 % выше сортов-стандартов. Увеличение нормы высева до 1,5–2,0 млн/га при рядовом посеве не приводило к увеличению урожайности. Урожайность рапса при рядовом способе посева при втором сроке выше, чем при первом. Также при посеве различными нормами высева выделился сорт Ладный, урожайность которого была на 25–30 % выше с максимальным значением 14,1 ц/га при норме высева 1,5 млн/га.

Посев рапса широкорядно в два срока показал, что в среднем за два года более урожайным был второй срок – 12,1 ц/га (что на 33 % больше первого срока). Наибольшая урожайность при таком способе посева выявлена у сорта Ладный – 17,0 ц/га при норме высева 1,5 млн/га. Уменьшение до 1,0 млн или увеличение до 2,0 млн/га нормы у сорта Ладный при широкорядном способе посева способствовало снижению урожайности семян на 10 %.

Структура урожая – это показатели элементов растений сельскохозяйственной культуры, от которых зависит величина урожая. Многочисленными исследованиями при изучении рапса доказано, что при формировании урожая данная культура обладает большой пластичностью и комбинационной способностью. Влагообеспеченность посевов, пищевой и водный режимы, нормы и способы высева оказывают существенное влияние на биологическую массу растений и урожайность зерна [11, 12].

Считается, что наибольшее действие на урожайность семян оказывают такие элементы структуры, как число стручков на растении и обсемененность стручка. Элементы технологии возделывания рапса оказывают влияние на высоту растений, число семян в стручках способствует формированию более крупных семян. В итоге эти факторы влияют на урожайность. При изучении урожайности необходимо рассмотреть динамику каждого из элементов, которые участвуют в формировании урожая культуры. Основные элементы урожайности рапса представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость показателей структуры урожая ярового рапса от срока посева и нормы высева, 2024–2025 гг.
Dependence of spring rapeseed yield structure indicators on sowing time and seeding rate, 2024–2025.

Вариант	Высота растения, см	Ветвистость	Кол-во стручков, шт.	Кол-во зерен в стручке, шт.	Длина стручка, см	Масса 1000 семян
1	2	3	4	5	6	7
Рядовой посев. 1-й срок						
СибНИИК 198 (1 млн)	99	5,5	71	27,3	7,1	3,9
Ладный (1 млн)	97	5,0	43	24,5	7,1	3,3
Сибирский (1 млн)	92	4,4	45	26,6	6,9	3,9
СибНИИК 198 (1,5 млн)	94	4,9	57	24,6	6,8	3,5

1	2	3	4	5	6	7
Ладный (1,5 млн)	97	4,1	45	24,6	7,1	3,7
Сибирский (1,5 млн)	85	4,	33	24,4	6,8	3,9
СибНИИК 198 (2 млн)	90	4,2	51	24,2	6,9	4,2
Ладный (2 млн)	84	4,1	32	20,2	6,9	3,8
Сибирский (2 млн)	88	4,5	33	23,9	7,0	4
Рядовой посев. 2-й срок						
СибНИИК 198 (1 млн)	101	5,3	58	23,9	6,6	3,6
Ладный (1 млн)	97	3,7	39	23,4	6,5	3,1
Сибирский (1 млн)	89	4,5	40	22,9	6,5	3,7
СибНИИК 198 (1,5 млн)	102	5,6	58	24,4	6,8	3,6
Ладный (1,5 млн)	100	4,2	42	24,8	6,8	3,3
Сибирский (1,5 млн)	93	3,6	43	23,2	6,8	3,5
СибНИИК 198 (2 млн)	94	4,7	51	24,7	6,6	3,6
Ладный (2 млн)	97	3,6	35	22,7	6,5	3,4
Сибирский (2 млн)	91	4,1	36	24	6,6	3,2
Ширококорядный посев. 1-й срок						
СибНИИК 198 (1 млн)	101	6,3	87	25,4	7,1	4,3
Ладный (1 млн)	98	6,3	70	25,8	7,2	3,6
Сибирский (1 млн)	91	6,3	58	24,8	6,8	3,8
СибНИИК 198 (1,5 млн)	97	7,7	77	23,8	6,7	3,8
Ладный (1,5 млн)	94	6,2	59	25,3	7,0	3,6
Сибирский (1,5 млн)	81	4,5	40	24,1	6,8	3,6
СибНИИК 198 (2 млн)	95	5,0	58	23,9	6,9	3,7
Ладный (2 млн)	92	5,1	43	24,8	6,9	3,6
Сибирский (2 млн)	91	5,4	48	24,6	6,9	3,9
Ширококорядный посев. 2-й срок						
СибНИИК 198 (1 млн)	100	5,2	66	22,9	6,5	3,9
Ладный (1 млн)	101	5,5	65	25,9	7,0	3,2
Сибирский (1 млн)	93	4,5	52	24,9	6,6	3,4
СибНИИК 198 (1,5 млн)	95	5,5	59	23,9	6,5	3,6
Ладный (1,5 млн)	93	3,8	43	22,5	6,6	3,4
Сибирский (1,5 млн)	94	5,1	56	25	6,8	3,6
СибНИИК 198 (2 млн)	92	5,2	42	21,7	6,5	3,8
Ладный (2 млн)	91	4,0	37	21,4	6,4	3,3
Сибирский (2 млн)	85	5,0	42	22,8	6,3	3,5

В среднем за два года исследований при рядовом посеве первого срока максимальная высота растений рапса отмечена при норме высева 1,0 млн – 92,6–99,6 см в зависимости от сорта. Высота растений сорта Ладный находилась на уровне стандарта сорта СибНИИК 198. Длина стручков при раннем сроке посева на 7–11 % больше, чем при таком же способе посева более позднего срока посева. Внешний вид растений со-

ртов рапса представлен на рисунке. Вместе с тем число семян в стручке достаточно тесно связано с его длиной, что подтверждается выявленной сильной корреляционной связью в исследованиях ($r = 0,74$). Аналогичные закономерности выявлены в работах исследователей из Нижегородского государственного агротехнологического университета (2024 г.) [12].



Ладный

СибНИИК 198

Сибирский

Растения сортов ярового рапса
Plants of spring rapeseed varieties

При посеве сортов рапса в более поздний срок – во II декаде мая максимальная высота растений сорта Ладный 100,6 см получена при норме высева 1,5 млн/га одновременно с максимальной ветвистостью. При этом отмечена длина стручка до 6,8 см с количеством зерен в стручке до 24,4 шт.

Для растений рапса сорта Ладный при широкорядном посеве максимальная высота получена при норме высева 1,0 млн – 98,2 см, что находится в пределах ошибки в сравнении с контрольным вариантом. При этом отмечена максимальная длина стручка 7,2 см и его обсемененность 25,8 шт./стручке.

Отличительной особенностью элементов структуры урожая рапса при широкорядном посеве второго срока является увеличение ветвистости растений сорта Ладный на 8 % и стручков на растении до 67,7 шт., или на 17 % больше при норме высева 1,5 млн.

Немаловажным компонентом комплексной оценки продуктивности растений ярового рапса нового сорта является масса 1000 семян, которая

варьировала от 3,3 до 4,2 г и находилась в пределах ошибки опыта с сортами-стандартами.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одним из ключевых моментов активного развития отрасли рапсоводства в различных регионах является создание новых сортов, способных обеспечить высокий уровень урожайности культуры при разнообразных природно-климатических условиях. По данным В.П. Данилова и других исследователей, в условиях лесостепной зоны Западной Сибири можно получать до 29 ц/га у сортов рапса сибирской селекции [14, 15].

В то же время в современных условиях значимая роль отводится технологиям, направленным на создание благоприятных условий для роста и развития культуры для получения высокой продуктивности и хорошего качества продукции. По данным [13], урожайности семян ярового рапса СибНИИК 198 в зависимости от способа и нормы высева изменялась в 2011–2014 гг. от

0,55 до 1,94 т/га. Полученные нами результаты по этому сорту входят в этот диапазон. Урожайность же нового сорта Ладный выше сорта-стандарта.

Наши результаты согласуются с результатами других исследований, показывающими, что элементы технологии значительно влияют на продуктивность рапса, урожайность может варьировать до 28 % [6–11].

Таким образом, исследования по разработке сортовой технологии должны проводиться для каждого нового сорта рапса, поскольку могут значительно повысить адаптационные способности растений в ценозе и способствовать разработке принципиально новых технологий размножения растений.

ВЫВОДЫ

1. Для условий Западной и Восточной Сибири создан новый сорт ярового рапса 00-типа комплексного направления использования, способный формировать высокие урожаи семян. Сорт среднеспелый, продолжительность вегетационного периода 103–105 дней.

2. При рядовом способе посева в условиях лесостепной зоны Западной Сибири максимальный сбор семян ярового рапса сорта Ладный в среднем за два года исследований получен при посеве в 3-й декаде мая (14,1 ц/га) нормой высева 1,5 млн/га. При более раннем сроке посева урожайность уменьшалась на 14 %.

3. При широкорядном способе посева максимальная урожайность семян сорта Ладный получена при посеве в 3-й декаде мая и норме высева 1,5 млн/га – 14,5 ц/га. При более раннем посеве урожайность уменьшилась на 25 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Осипова Г.М., Познахарева О.А. Особенности селекции и перспективы использования нового сорта ярового рапса 00-типа Сибирский // Успехи современной науки и образования. – 2017. – Т. 7, № 4. – С. 151–155.
2. Сравнительная оценка новых сортов рапса ярового / Я.Э. Пилук, И.М. Наумович, О.А. Пикун [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2019. – № 55. – С. 272–278.
3. Эффективность выращивания телят при скормливании семян рапса новых сортов / Т.Л. Сапсалева, Г.Н. Радчикова, П.В. Скрипин [и др.] // Зоотехническая наука Беларуси. – 2024. – Т. 59, № 2. – С. 77–86.
4. Кузнецова Г.Н., Полякова Р.С. Достижения и перспективы селекционно-семеноводческой работы по рапсу яровому в Западной Сибири // Colloquium-Journal. – 2018. – № 5–2 (16). – С. 18–22.
5. Кузнецова Г.Н., Полякова Р.С. Результаты экологического испытания сортов и гибридов рапса ярового в условиях Западной Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2 (34). – С. 43–50.
6. Кузнецова Г.Н., Полякова Р.С. Размножение новых перспективных сортов рапса ярового в условиях Сибири // Генетический потенциал сельскохозяйственных растений и его реализация в селекции, семеноводстве и размножении: сб. ст. по мат-м Всерос. науч.-практ. конф. Кубанского отделения ВОГиС. – Краснодар, 2024. – С. 93–96.
7. Кузнецова Г.Н., Полякова Р.С. Новые сорта рапса и сурепицы в интенсификации сельского хозяйства Сибири // Рисоводство. – 2024. – Т. 23, № 4 (65). – С. 71–76. – DOI: 10.33775/1684-2464-2024-65-4-71-76.
8. Новый сорт рапса ярового Бумер КЛ, устойчивый к имидазолиновым гербицидам / Л.А. Горлова, Э.Б. Бочкарева, В.В. Сердюк, Е.А. Стрельников // Масличные культуры. – 2024. – № 4 (200). – С. 158–161. – DOI: 10.25230/2412-608X-2024-4-200-158-161.
9. Акманаев Э.Д. Влияние норм высева на урожайность ярового рапса в промежуточных посевах Среднего Предуралья // Таврический научный обозреватель. – 2017. – № 2 (19). – С. 126–131.
10. Шишкин А.А., Богатырева А.С., Акманаев Э.Д. Энергетическая оценка способов посева и норм высева в агротехнике ярового рапса в условиях Среднего Предуралья // Пермский аграрный вестник. – 2021. – № 2 (34). – С. 63–68. – DOI: 10.47737/2307-2873_2021_34_63.
11. Шевчук Н.И., Жаркова С.В. Показатели урожайности рапса в зависимости от элементов используемой агротехнологии // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2024. – Vol. 7–3 (94). – P. 18–20. – DOI: 10.24412/2500-1000-2024-7-3-18-20.
12. Володина Е.Н., Титова В.И., Кириллова Д.А. Влияние птичьего помета на урожайность и структуру урожая ярового рапса // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2024. – Т. 25, № 2. – С. 216–226. – DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.2.216-226.
13. Данилов В.П., Штрауб А.А., Поцелуев О.М. Влияние основных приемов возделывания ярового рапса на урожайность и качество семян // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 2 (243). – С. 41–48.
14. Данилов В.П., Штрауб А.А., Поцелуев О.М. Основные приемы сортовых технологий в семеноводстве сортов ярового рапса селекции СибНИИ кормов // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. ст. в 3 кн.; Алтайский государственный аграрный университет. Кн. 2. – Барнаул, 2017. – С. 90–92.

15. Данилов В.П., Поцелуев О.М. Основные приемы сортовых технологий ярового рапса селекции СибНИИ кормов // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: мат-лы VII-й Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Горно-Алтайского государственного университета. – Горно-Алтайск, 2019. – С. 40–44.
16. Барыло Б.О., Рзаева В.В. Влияние элементов биологизации на урожайность ярового рапса // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2023. – Vol. 3–1 (78). – P. 178–180. – DOI: 10.24412/2500-1000-2023-3-1-176-180.

REFERENCES

1. Osipova G.M., Poznakhareva O.A., *Uspekhi sovremennoi nauki i obrazovaniya*, 2017, T. 7, No. 4, pp. 151–155. (In Russ.)
2. Pilyuk Ya.E., Naumovich I.M., Pikun O.A., Bakanovskaya A.V., Semenova T.V., Pavlovskaya A.N., *Sravnitel'naya otsenka novikh sortov rapsa yarovogo Zemledelie i selektsiya v Belarusi* (Comparative evaluation of new varieties of spring rape), 2019, No. 55, pp. 272–278.
3. Sapsalyova T.L., Radchikova G.N., Skripin P.V., Pilyuk N.V., Raikhman A.Ya., Tkachyova I.V., Karabanova V.N., Vozmitel L.V., Bukas V.V., Ganushchenko O.F., *Zootekhnikeskaya nauka Belarusi*, 2024, T. 59, No. 2, pp. 77–86. (In Russ.)
4. Kuznetsova G.N., Polyakova R.S., *Colloquium-Journal*, 2018, No. 5–2 (16), pp. 18–22. (In Russ.)
5. Kuznetsova G.N., Polyakova R.S., *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 2 (34), pp. 43–50. (In Russ.)
6. Kuznetsova G.N., Polyakova R.S., *Geneticheskii potentsial selskokhozyaistvennikh rastenii i yego realizatsiya v selektsii, semenovodstve i razmnozhenii* (Genetic potential of agricultural plants and its implementation in selection, seed production and propagation), Proceedings of the Conference Title, Krasnodar, 2024, pp. 93–96. (In Russ.)
7. Kuznetsova G.N., Polyakova R.S., *Risovodstvo*, 2024, T. 23, No. 4 (65), pp. 71–76, DOI: 10.33775/1684-2464-2024-65-4-71-76. (In Russ.)
8. Gorlova L.A., Bochkareva E.B., Serdyuk V.V., Strelnikov Ye.A., *Maslichnie kulturi*, 2024, No. 4 (200), pp. 158–161, DOI: 10.25230/2412-608X-2024-4-200-158-161. (In Russ.)
9. Akmanayev E.D., *Tavrisheskii nauchnii obozrevatel*, 2017, No. 2 (19), pp. 126–131. (In Russ.)
10. Shishkin A.A., Bogatireva A.S., Akmanayev E.D., *Permskii agrarnii vestnik*, 2021, No. 2 (34), pp. 63–68, DOI: 10.47737/2307-2873_2021_34_63. (In Russ.)
11. Shevchuk N.I., Zharkova S.V., Pokazateli urozhainosti rapsa v zavisimosti ot elementov ispolzuemoi agrotekhnologii, *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2024, Vol. 7–3 (94), pp. 18–20, DOI: 10.24412/2500-1000-2024-7-3-18-20.
12. Volodina Ye.N., Titova V.I., Kirillova D.A., *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka*, 2024, T. 25, No. 2, pp. 216–226, DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.2.216-226. (In Russ.)
13. Danilov V.P., Shtraub A.A., Potseluev O.M., *Sibirskii vestnik selskokhozyaistvennoi nauki*, 2015, No. 2 (243), pp. 41–48. (In Russ.)
14. Danilov V.P., Shtraub A.A., Potseluev O.M., *Agrarnaya nauka – selskomu khozyaistvu* (Agricultural science – for agriculture), Collection of articles, Kn. 2, Barnaul, 2017, pp. 90–92. (In Russ.)
15. Danilov V.P., Potseluev O.M., *Aktualnie problemi selskogo khozyaistva gornikh territorii* (Current issues of agriculture in mountainous areas), Proceedings of the Conference Title, Gorno-Altai, 2019, pp. 40–44. (In Russ.)
16. Barilo B.O., Rzaeva V.V., Vliyanie elementov biologizatsii na urozhainost yarovogo rapsa, *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, Vol. 3–1 (78), 2023, pp. 176–180, DOI: 10.24412/2500-1000-2023-3-1-176-180.

Информация об авторах:

Т.А. Садохина, доктор сельскохозяйственных наук

В.П. Данилов, кандидат сельскохозяйственных наук

А.Ф. Петров, доктор сельскохозяйственных наук

О.А. Познахарева, кандидат сельскохозяйственных наук

К.Е. Денисов

Contribution of the authors:

T.A. Sadokhina, Doctor of Agricultural Sciences

V.P. Danilov, Candidate of Agricultural Sciences

A.F. Petrov, Doctor of Agricultural Sciences

O.A. Poznakhareva, Candidate of Agricultural Sciences

K.E. Denisov

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЮПИНА, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.В. Ульрих, Д.Б. Подашев, Н.А. Фролова, А.В. Качанова

Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

E-mail: elena.ulrikh@klgtu.ru

Для цитирования: Физико-химические свойства люпина, произрастающего в Калининградской области / Е.В. Ульрих, Д.Б. Подашев, Н.А. Фролова, А.В. Качанова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 120–128. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-120-128.

Ключевые слова: люпин, анатомические части, натура зерна, белок, углеводы, жир, зола.

Реферат. Бобовые культуры традиционно считаются богатыми полезными для здоровья биоактивными соединениями. Одной из наиболее перспективных бобовых культур, массово произрастающих в Калининградской области, является люпин белый. Целью работы являлось исследование физико-химических свойств люпина, произрастающего в Калининградской области. Сбор семян различных видов люпина осуществлялся в июле с 2020 по 2024 г. на территории Калининградской области. Изучали технологические показатели, физический состав, физико-химические характеристики и химический профиль представленных образцов. Было исследовано более двадцати образцов люпина. Все эксперименты были проведены в трех повторностях. Для интерпретации и обсуждения были взяты средние арифметические значения, полученные за 5 лет исследований (2020–2024 гг.). Выявлено, что шаг варьирования анатомических частей семян люпина изменялся от 0,11 до 0,42 %, среднее значение диаметра для видов *L. angustifolius*, *L. albus* и *L. luteus* варьирует от $5,5 \pm 0,1$ до $6,8 \pm 0,1$ мм. Высокое значение натуре отмечено у *L. albus*. Отмечено, что наибольшими значениями массы 1000 зерен обладает *L. albus*. Анализ химического состава семян люпина показал, что содержание белка в исследуемых образцах люпина составил от 30,58 до 33,78 %. Больше всего белка содержится в люпине *L. albus*. – от 5,11 до 5,15 %, приближаясь к средним показателям. Наибольшее накопление липидов отмечено у люпина *L. angustifolius*. Уровень содержания крахмала в изученных образцах колебался от 19,34 до 22,39 %, причем наибольший показатель отмечен у сорта *L. albus*. Установлено, что по содержанию химических веществ среди исследуемых видов следует выделить люпин вида *L. albus*, являющийся сырьем для производства функциональных и персонализированных продуктов питания.

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF LUPINE GROWING IN THE KALININGRAD REGION

E.V. Ulrikh, D.B. Podashev, N.A. Frolova, A.V. Kachanova

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

E-mail: elena.ulrikh@klgtu.ru

Keywords: lupin, anatomical parts, grain nature, protein, carbohydrates, fat, ash.

Abstract. Legume crops are traditionally considered to be rich in health-beneficial bioactive compounds. One of the most promising legumes massively grown in the Kaliningrad region is white lupine. The aim of this work was to study the physico-chemical properties of lupines growing in the Kaliningrad region. Seeds of various lupine species were collected in July from 2020 to 2024 in the Kaliningrad region. The technological indicators, physical composition, physicochemical characteristics and chemical profile of the presented samples were studied. More than 20 lupine samples were examined. All experiments were carried out in triplicate. The arithmetic mean values obtained over 5 years of research (2020–2024) were taken for interpretation and discussion. It was found that the variation step of the anatomical parts of lupine seeds varied from 0.11 to 0.42 %, the average diameter value for the species *L. angustifolius*, *L. albus* and *L. luteus* varied from 5.5 ± 0.1 to 6.8 ± 0.1 mm. A high nature value was noted for *L. albus*. It was observed that the highest values of thousand-grain weight belong to *L. albus*. Analysis of the chemical composition of lupine seeds showed that the protein content in studied samples varied from 30.58 to 33.78 %, with the highest amount being present in *L. albus*. The highest accumulation of lipids was observed in lupine *L. angustifolius*. The starch content in the studied samples ranged from 19.34 to 22.39 %, with the highest

value observed in the L. albus variety. It has been established that among the studied varieties, L. albus stands out as a raw material for producing functional and personalized food products due to its chemical substance content.

Спрос на здоровую пищу существенно вырос за последние годы, поскольку потребители стали больше осознавать связь между диетой и здоровьем [1]. Бобовые культуры высокопитательны, считаются богатыми полезными биоактивными соединениями [2]. Развитие продуктов с добавкой бобовых растет, особенно потому, что бобовые содержат большое количество питательных и биологически активных фитохимических веществ. Более того, рынок безглютеновых продуктов расширяется из-за более высокой распространенности заболеваний, связанных с глютеном, таких как целиакия, или чувствительность к глютену. Зерновые, такие как пшеница, кукуруза и рис, обычно используются для производства цельнозерновых и/или безглютеновых продуктов, но бобовые культуры являются многообещающей альтернативой [3].

Бобовые культуры выращиваются с той же целью, что и злаки, но они не являются частью семейства злаковых [4]. С экологической точки зрения бобовые обладают лучшей устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессам, чем обычные зерновые культуры [5]. Их выращивание возможно в регионах с суровым климатом и плохими почвенными условиями, что может помочь обеспечить наличие продовольствия в таких регионах [6]. Наиболее распространенными бобовыми культурами являются фасоль, горох и чечевица. Также к ним относятся нут, вика, соя, маш, чина, кормовые бобы, люпин и арахис. Бобовые культуры отличаются высокой пищевой ценностью. Содержание белка в бобах высокое и характеризуется хорошо сбалансированным профилем аминокислот. Бобы являются хорошим источником ненасыщенных жирных кислот, пищевых волокон и необходимых микроэлементов. Кроме того, они содержат большое количество биоактивных соединений [7]. Из-за отсутствия глютена, бобовые также являются интересными ингредиентами для безглютеновых продуктов [8].

Люпин – ценная бобовая культура [9]. В Калининградской области бобовые культуры, такие как люпин, широко произрастают в естественных условиях и могут использоваться в качестве добавки для обогащения традиционных продуктов

питания или для производства новых пищевых продуктов [10]. Тем не менее эти бобовые не обладают тестообразующими и, следовательно, хлебопекарными свойствами из-за отсутствия глютена. Тестообразующие свойства сырья необходимы для всех пищевых продуктов, требующих приготовления теста (хлеб, хлебобулочные изделия, макаронные изделия и т.д.). Традиционно эти типы пищевых продуктов изготавливаются из очищенной пшеничной муки. До определенного количества бобовые могут быть добавлены в продукты на основе пшеницы для улучшения питательных свойств полученного пищевого продукта. Однако добавление больших количеств приводит к технологическим проблемам из-за высокого содержания клетчатки и эффекта разбавления глютена. Полная замена пшеницы связана со сложной задачей замены функциональности глютена и не может быть выполнена без добавления определенных ингредиентов или адаптации условий процесса [11].

Химический состав бобовых довольно сильно отличается от состава злаков и, кроме того, отличается среди различных типов бобовых [12, 13]. Надежные фундаментальные знания характеристик семян и муки бобовых имеют решающее значение для возможности продвижения их промышленного использования. В настоящее время одной из ключевых проблем в области разработки функционального и персонализированного питания остается дефицит доступного высококачественного растительного белка. В связи с этим исследование и оценка технологической ценности различных представителей семейства бобовых является актуальным. В качестве первого шага к более эффективному и успешному применению это исследование фокусируется на характеристиках бобов, химическом составе и технологических свойствах бобовых, в частности, люпина. Характеристики бобовых культур обсуждаются в данной работе в связи с характеристиками бобов и химическим составом.

Цель исследования заключается в изучении физико-химических свойств люпина, произрастающего в Калининградской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сбор семян различных видов люпина осуществлялся каждый июль с 2020 по 2024 г. на территории Калининградской области. Климат произрастания морской. Почвы дерновоподзолистые, подвержены эрозии. Средняя многолетняя сумма активных температур выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 2263 (2200–2400 $^{\circ}\text{C}$), среднегодовая сумма осадков – 815 (700–900) мм. Семена были собраны путем ручного сбора. После уборки семена подвергались естественной воздушной сушке под навесом, что обеспечивало оптимальные условия хранения. Далее семена были очищены от посторонних включений механическим способом. Были идентифицированы следующие виды растений: люпин узколистный (*Lupinus angustifolius*), люпин белый (*Lupinus albus*) и люпин желтый (*Lupinus luteus*). Для изучения характеристик полученного сырья

применялись общепринятые научные методики анализа, позволяющие определить ключевые технологические показатели, физический состав, физико-химические характеристики и химический профиль представленных образцов согласно Кошаку и др. [14]. Было исследовано более двадцати образцов люпина. Все эксперименты проведены в трех повторностях. Для интерпретации и обобщения были взяты средние арифметические значения, полученные за 5 лет исследований (2020–2024 гг.).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подробные сведения о количестве выявленных анатомических элементов у проанализированных разновидностей люпина приведены на рис. 1.

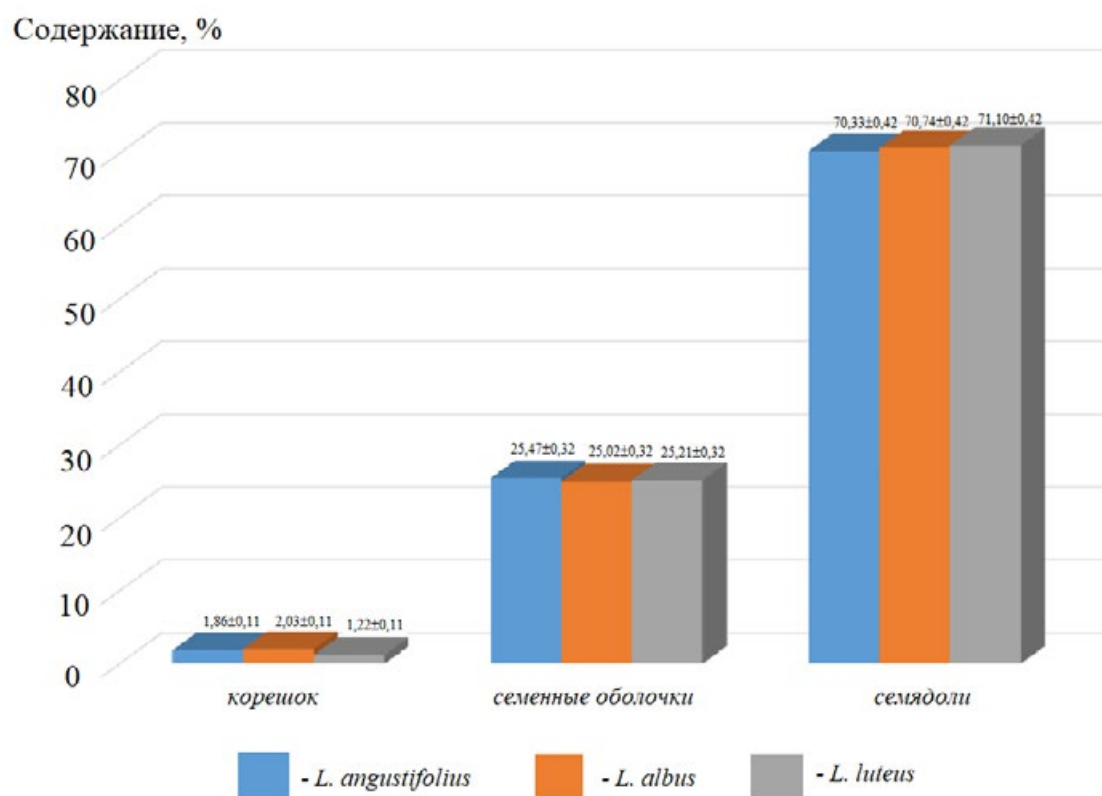


Рис. 1. Количество анатомических частей семян исследуемых видов люпина

The number of anatomical parts of the seeds of the studied lupine species

Графическое отображение средних величин и диапазонов колебаний линейных признаков для изучаемых образцов представлено на рис. 2.

Экспериментально полученные данные о натуре зерна люпина отражены на рис. 3.

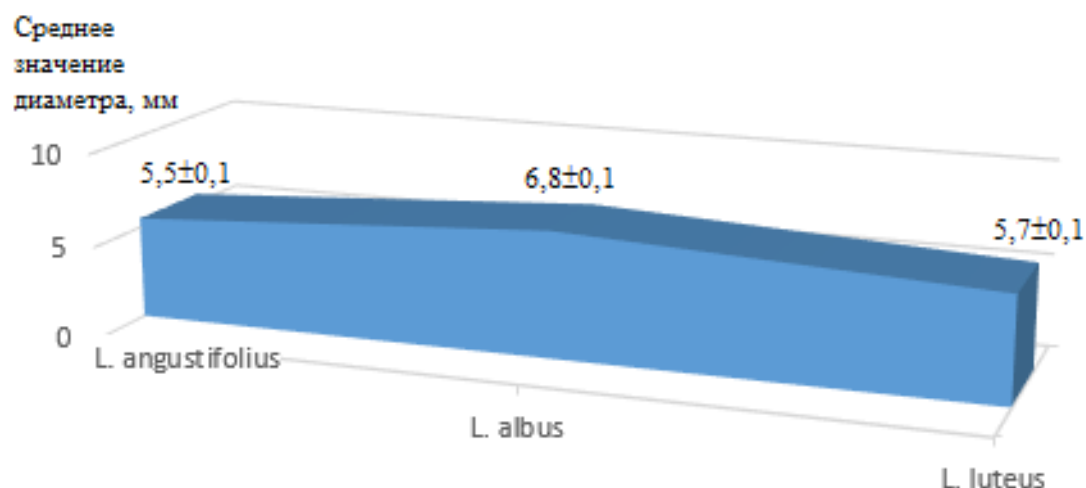


Рис. 2. Средние значения и пределы вариации линейных размеров исследуемых образцов семян люпина
Average values and limits of variation of the linear dimensions of the studied lupine seed samples

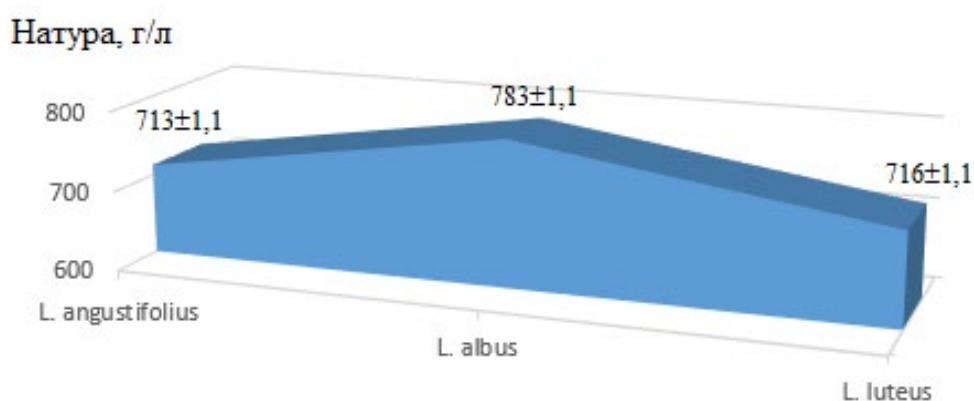


Рис. 3. Средние значения и пределы вариации натуры исследуемых образцов семян люпина
Average values and limits of variation of the nature of the studied lupine seed samples

Таблица 1

Физико-химические свойства исследуемых образцов семян люпина
Physicochemical properties of the studied lupine seed samples

Вид люпина	Значение			
	Влажность, %	Седиментационный осадок, СО, мл	Щелочеудерживающая способность, ЩУ, %	Кислотность, град.
L. angustifolius	8,7±0,2	17±0,3	63±0,4	13,6±0,1
L. albus	10,8±0,2	16±0,3	68±0,4	14,8±0,1
L. luteus	8,8±0,2	15±0,3	69±0,4	14,5±0,1

В табл. 1 показаны характеристики физико-химического состава изученных образцов семян люпина.

Подробная информация о составе химических элементов семян люпина приведена в табл. 2.

Химический состав семян люпина на сухое вещество
Chemical composition of lupine seeds on a dry matter basis

Вид люпина	Содержание, %						
	Белок	Углеводы			Жир	Зола	Вода
		Крахмал	Сахар	Клетчатка			
<i>L. angustifolius</i>	30,58±1,5	19,34±1,5	3,06±0,1	14,10±0,6	5,15±0,3	4,21±0,2	15,94±0,5
<i>L. albus</i>	33,78±1,5	22,39±1,5	3,09±0,1	15,83±0,6	5,12±0,3	4,32±0,2	18,92±0,5
<i>L. luteus</i>	32,12±1,5	21,12±1,5	3,02±0,1	13,25±0,6	5,11±0,3	4,11±0,2	12,52±0,5

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Эффективная технология переработки сельскохозяйственного сырья может быть основана только на комплексном понимании особенностей семян, начиная от их внешней формы и заканчивая внутренней микроструктурой и биохимическим составом. Изучение микроскопического строения семян играет важную роль в оптимизации производственного цикла, поскольку анатомия непосредственно влияет на процессы механической обработки, разделения фракций и извлечения полезных питательных веществ.

Важнейшими аспектами, влияющими на переработку, являются такие факторы, как распределение воды и сухих веществ, наличие покровных оболочек, размеры и форма зародыша, величина эндосперма и алейронового слоя. Данные характеристики определяют механические свойства семян, устойчивость к деформации и сопротивление раздавливанию, что существенно отражается на эффективности дробления, шелушения и экстракционных операций.

Соотношение внутренних тканей в составе семян, например, эпидермиса, перикарпия, мезокарпия и эндосперма, предопределяют поведение семян при механическом воздействии и обработке теплом. Так, высокое содержание крахмала способствует увеличению вязкости теста при замесе, а присутствие большого количества масла облегчает формование изделий. Химический состав семян также оказывает большое влияние на функциональные свойства готовых продуктов: высокий уровень белков обеспечивает высокую пищевую ценность, а количество жиров влияет на вкус и консистенцию конечного изделия.

Таким образом, именно глубокое знание анатомии и химии семян лежит в основе рационального проектирования технологий производства пищевых продуктов. Следует отметить, что точное представление о структуре и составе семян возможно лишь благодаря использованию

современных методов исследований, таких как электронная микроскопия, спектроскопия и хроматография.

Кроме того, основные технические параметры сельскохозяйственных культур формируются преимущественно под влиянием уникальной структуры семян, уровня целостности клеточных стенок и показателя пористости. Ключевую роль также играют пропорции массовых долей различных анатомических компонентов и характер распределения химических соединений внутри семенного материала. Физико-механические признаки семян служат основой для правильной организации и эффективного управления производственными циклами. Следовательно, успех технологических процессов переработки семян главным образом обусловлен качественным балансом присутствующих анатомических единиц.

Анализ графического представления (см. рис. 1) показывает, что колебания в содержании анатомических компонентов характерны для всех рассмотренных сортов семян люпина, однако их размах ограничен сравнительно небольшими пределами, варьируясь в диапазоне от 0,11 до 0,42 %. Данный диапазон изменений отражает стабильность анатомического состава семян люпина независимо от сорта.

Более подробное рассмотрение представленной визуализации подтверждает, что доля твердой оболочки семян незначительно колеблется в пределах указанных значений, демонстрируя низкую амплитуду отклонений среди исследуемых сортов. Такие минимальные различия указывают на гомогенность анатомического строения семян люпина даже при различиях генетики и условий выращивания.

Геометрические параметры представляют собой одну из важнейших характеристик ботанического вида. Семена обладают набором специфичных линейных размеров, таких как протяженность вдоль продольной оси (длина), максимальная ширина между боковыми поверх-

ностями (ширина), максимальный промежуток между противоположными полюсами спинки и брюшка (толщина), а также средний показатель размера в поперечной плоскости боба (диаметр). Каждый из перечисленных критериев несет важную информацию о форме и внутреннем строении семян.

Одним из значимых индикаторов качества посевного материала является понятие «натуры зерна». Этот термин обозначает массу одного литра семян, выраженную в граммах. Натура зерна тесно связана с целым рядом факторов, оказывающих непосредственное влияние на ее величину. Среди них особое место занимают уровни загрязнения посевного материала, а также качественные характеристики самих семян, такие как поверхность, форма, объем, масса единицы объема и влагосодержание. Натура зерна выступает важным диагностическим критерием зрелости и пригодности посевного материала для дальнейшего использования. Полноценные, развитые семена, как правило, отличаются высоким уровнем природы и значительным содержанием эндосперма, являющегося ключевым поставщиком белковых соединений.

Обработка экспериментальных данных, приведенных на рис. 2 и 3, позволила выявить закономерности, описывающие средние величины диаметров семян трех исследуемых видов люпина: *L. angustifolius*, *L. albus* и *L. luteus*. Установлено, что этот показатель испытывает незначительную вариабельность, колеблясь в пределах от $5,5 \pm 0,1$ мм до $6,8 \pm 0,1$ мм. Особого внимания заслуживает тот факт, что самое высокое значение плотности зерна зафиксировано именно у *L. albus*.

Показатель массы тысячи семян служит одним из центральных критериев оценки физического состояния посевного материала. Его важность обусловлена тесной связью с размером зерен, степенью их зрелости и плотностью клеточного содержимого. Масса 1000 зерен является косвенным маркером наличия и концентрации эндосперма, являющегося основной составляющей, обеспечивающей запас питательных веществ для роста молодого растения. Как известно, увеличение размера зерен автоматически ведет к росту соответствующего параметра, причем крупные экземпляры демонстрируют меньшее влияние массы зародышевых элементов на общий вес партии.

Согласно существующим литературным источникам, масса тысячи семян люпина находится в интервале от 60 до 600 г.

Таким образом, проведенное исследование позволило установить точные границы разброса данного показателя для рассматриваемых видов люпина: минимальная масса составила 118,23 г у *L. angustifolius*, тогда как максимальная достигла отметки в 131,16 г у *L. albus*.

Плотность можно рассматривать как комплексную характеристику, суммарно отражающую такие показатели, как структура, химический состав, масса 1000 зерен и т.д. Отмечено, что наибольшими значениями данного показателя обладает *L. albus*.

Следует отметить, что уровень влажности изучаемых образцов соответствует установленным нормам для люпина, т. е. не превышает рекомендованных 14 % (см. табл. 1). Высокая кислотность люпина объясняется значительным содержанием жиров в семенах растения.

Осадок седиментационного анализа исследуемого люпина варьируется в диапазоне от 15 до 17 ед. Щелочеудерживающая способность зависит от конкретного сорта и колеблется в пределах 63–69 %.

Химическая структура является ключевым фактором, определяющим качество, пищевую ценность и потребительские характеристики пищевых продуктов. Именно химический состав полезных компонентов люпиновых бобов оказывает непосредственное влияние на важные физиологические, биологические и химические свойства конечного продукта.

Согласно [14, 15] содержание основных питательных веществ в семенах люпина характеризуется следующим составом: белки составляют около 23,4 %, жиры примерно 2,4 %, углеводы – 53,1 %, клетчатка – 4,7 %.

При проведении лабораторного исследования химического состава семян люпина было выявлено, что доля белка значительно превосходит средние показатели и достигает уровня от 30,58 до 33,78 %. Максимальное содержание белка характерно для сорта люпина *L. albus*.

Среди углеводов, которые содержатся в бобах люпина, наиболее важным является крахмал, который представляет собой крупногранулированные структуры овальных форм различных размеров. Крахмал обладает высокой пористой структурой, состоящей из молекул полисахаридов, включающих остатки сахаров, объединенных цепочками. Структура молекул различается: амилоза образует линейные соединения, тогда как амилопектин представлен ветвящимися формами. Уровень содержания крахмала в изученных

образцах колебался от 19,34 до 22,39 %, причем наибольший показатель отмечен опять же у сорта *L. albus*.

Отдельное внимание уделяется простым сахарам, играющим значительную роль в природе растений. Эти моносахара могут встречаться либо свободно, либо входить в состав сложных углеводных соединений. Концентрация простых сахаров была практически стабильной и находилась в интервале от 3,02 до 3,09 %, при этом максимальное содержание обнаружено снова у люпина *L. albus*.

Важнейшей составляющей растительного материала выступает целлюлоза — вещество, формирующее основной каркас стенок растительных клеток. Она преимущественно сосредоточена в алейроновом слое и клетках оболочки. Ценность целлюлозы для организма ограничена ввиду ее химической устойчивости и неспособности растворяться в воде и большинстве органических растворителей. Доля целлюлозы в исследованных образцах составила от 13,25 до 15,83 %.

Также существенное значение имеют жировые компоненты. Жиры представляют собой биологически активные водонерастворимые вещества, известные своим преобладанием триглицеридных комплексов жирных кислот. Процентное содержание липидов варьировало незначительно, удерживаясь в рамках от 5,11 до 5,15 %, приближаясь к средним показателям. Наибольшее накопление липидов отмечено у люпина *L. angustifolius*.

Кроме того, были определены концентрации микроэлементов и минералов в семенах люпина *L. albus*: выявлено наличие высоких концентраций калия, магния, цинка и марганца.

Нашими пятилетними исследованиями подтверждено, что *L. albus* имеет ряд преимуществ перед другими видами люпина и зернобобовыми: значительный потенциал урожайности; относительная засухоустойчивость; высокое прикреплённое бобов (потеря при уборки урожая практически нет); повышенное содержание уровня клетчатки (11–16 %); масло белого люпина на 90 % состоит из высокоценных ненасыщенных жирных кислот, в том числе олеиновой — 55 %, а количество его в семенах белого люпина достигает 8–12 %, что в 2 раза больше его содержания в семенах желтого и узколистного люпинов; высокое содержание белка (до 40 %) не только в зерне, но и в зеленой массе (3 % от общего объема зеленой массы составляет белок). Бобы белого люпина при созревании не растрескиваются, семена не осыпаются; корневая

система белого люпина отличается повышенным коэффициентом азотфиксации и благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями люпин способен накапливать в почве до 200 кг азота на 1 га; усваивает труднорастворимые фосфаты из почвы с помощью корневой системы (пшеница после люпина высокого качества и более урожайная); урожай семян можно получить без применения азота и фосфора; стоимость семян люпина на мировом рынке в 2 раза ниже стоимости сои; белки люпина весьма полиморфны и поэтому селекционные работы с ними очень перспективны. Люпин обладает свойствами гелиотропизма (от восхода до заката солнца листовые пластинки поворачиваются перпендикулярно солнечным лучам). Это способствует повышению интенсивности фотосинтеза и большему накоплению органического вещества. Люпин не требует тепловой обработки при скормливаниях скоту, содержит повышенное количество биологически активных веществ — тнеофитадиен, фарнезен, кампестерол, р-ситостерол, у-токоферол [16].

Таким образом, исходя из результатов оценки состава и физико-химических свойств сорт люпина *L. albus* выделяется наиболее благоприятным сочетанием показателей, что делает его перспективным сырьем для изготовления специализированных продуктов функционального назначения и персонализированного питания (семена люпина, богатые белком, могут быть переработаны в продукты, аналогичные тофу и молоку, а также использоваться для производства муки, которую добавляют в выпечку, макаронные изделия и колбасы) и биологически активных добавок к пище.

ВЫВОДЫ

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

— наиболее оптимальные физикохимические характеристики присущи люпину белого цвета (*L. albus*);

— по результатам измерения линейных размеров наиболее крупными оказались именно зерна *L. albus*, демонстрируя лучший показатель среди исследованных образцов;

— среди всех изучаемых сортов лучшими физическими характеристиками обладает именно белый люпин (*L. albus*);

— лучшую сыпучесть показали семена округлой формы, которыми отличается сорт люпина *L. albus*;

— каждый компонент исследуемых растений способен служить ценным источником важных

нутриентов и биологически активных соединений, необходимых для разработки продуктов специализированного назначения. В частности, семейство бобовых, включая люпин, представляет собой богатый источник высококачественного растительного протеина, минеральных элементов

и витаминов, обладающих выраженными профилактико-терапевтическими эффектами.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-26-20129 «Разработка биологически активных добавок на основе сквалена для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний моряков транспортного флота Калининградской области»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Consumer willingness to pay for healthier food products: A systematic review* / M. Alsubhi, M. Blake, T. Nguyen [et al.] // *Obesity Reviews*. – 2023. – Vol. 24, No. 1. – DOI: 10.1111/obr.13525.
2. *A Review of Bioactive Compound Effects from Primary Legume Protein Sources in Human and Animal Health* / Z. Shea, M. Ogando Do Granja, E.B. Fletcher [et al.] // *Current Issues in Molecular Biology*. – 2024. – Vol. 46, No. 5. – P. 4203–4233. – DOI: 10.3390/cimb46050257.
3. *Consumer Satisfaction with the Quality and Availability of Gluten-Free Products* / N. Knežević, S. Karlović, K. Takács [et al.] // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16, No. 18. – P. 8215. – DOI: 10.3390/su16188215.
4. *Botanical Composition of Fabaceae Family in the Brazilian Northeast, Maranhão, Brazil* / da Silva Gomes, Gustavo, Guilherme Sousa Silva, Domingos Lucas dos Santos Silva [et al.] // *Asian Journal of Environment & Ecology*. – 2018. – Vol. 6 (4). – P. 10. – DOI: 10.9734/AJEE/2018/41207.
5. *Climate Change Impacts on Legume Physiology and Ecosystem Dynamics: A Multifaceted Perspective* / K. Dave, A. Kumar, N. Dave [et al.] // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16, No. 14. – P. 6026. – DOI: 10.3390/su16146026.
6. *Forgotten Gems: Exploring the Untapped Benefits of Underutilized Legumes in Agriculture, Nutrition, and Environmental Sustainability* / O.A. Odeku, Q.A. Ogunniyi, O.O. Ogbole, J. Fettke // *Plants*. – 2024. – Vol. 13, No. 9. – P. 1208. – DOI: 10.3390/plants13091208.
7. *Nutritional Quality, Safety and Environmental Benefits of Alternative Protein Sources—An Overview* / A. Choręziak, D. Rosiejka, J. Michałowska [et al.] // *Nutrients*. – 2025. – Vol. 17. – P. 1148. – DOI: 10.3390/nu17071148.
8. *Application of legumes in the formulation of gluten-free foods: functional, nutritional and nutraceutical importance* / Yu.T. Imam, E.A. Ironi, W. Awoyale [et al.] // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. – 2024. – Vol. 8. – DOI: 10.3389/fsufs.2024.1251760.
9. Бонн В.Л., Ступницкий Д.Н., Данилов М.Е. Влияние сроков посева на продуктивность люпина узколистного в условиях Красноярской лесостепи // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2024. – № 4 (73). – С. 21–28. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-21-28.
10. *Some results of ecological breeding of yellow lupine* / M.G. Draganskaya, I.K. Savvicheva, P.Yu. Leshchenko, V.N. Adamkov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2020 All-Russian Conference with International Participation on Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants, Moscow Oblast, Bol'shie Vyazemy, 10–11 июня 2020 г. Vol. 663*. – Bristol: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012019. – DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012019.
11. *Advances in understanding wheat-related disorders: A comprehensive review on gluten-free products with emphasis on wheat allergy, celiac and non-celiac gluten sensitivity* / D. Singla, T. Malik, A. Singh [et al.] // *Food Chemistry Advances*. – 2024. – Vol. 4. – P. 100627. – DOI: 10.1016/j.focha.2024.100627.
12. *Proteins from Legumes, Cereals, and Pseudo-Cereals: Composition, Modification, Bioactivities, and Applications* / W. Zhang, I.D. Boateng, J.Xu, Yi. Zhang // *Foods*. – 2024. – Vol. 13, No. 13. – P. 1974. – DOI: 10.3390/foods13131974.
13. Васюкова А.Т., Кусова И.У., Мошкин А.В. Исследование физико-химических свойств зернобобового сырья для получения сухих функциональных смесей // *Health, Food & Biotechnology*. – 2024. – Т. 6, № 3. – С. 21–34. – DOI: 10.36107/hfb.2024.i3.s233.
14. *Исследование технологических свойств бобовых культур как сырья для производства комбикормов для рыб* / Ж.В. Кошак, Л.В. Рукшан, А.Н. Русина, Н.В. Зенович // *Вопросы рыбного хозяйства Беларуси*. – 2017. – № 33. – С. 156–166.
15. Марчик Т.П., Ефремов А.Л. Почвоведение с основами растениеводства: учеб. пособие. – Гродно: ГрГУ, 2006. – 248 с.
16. Орлова А.Г., Рапина О.Г. Сравнительная продуктивность различных сортов люпина белого в условиях Ленинградской области // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2019. – Т. 4, № 57. – С. 17–22. – DOI: 10.24411/2078-1318-2019-14017.

REFERENCES

1. Alsubhi M., Blake M., Nguyen T. [et al.], Consumer willingness to pay for healthier food products: A systematic review, *Obesity Reviews*, 2023, Vol. 24, No. 1, DOI: 10.1111/obr.13525.
2. Shea Z., Ogando Do Granja M., Fletcher E.B. [et al.], A Review of Bioactive Compound Effects from Primary Legume Protein Sources in Human and Animal Health, *Current Issues in Molecular Biology*, 2024, Vol. 46, No. 5, pp. 4203–4233, DOI: 10.3390/cimb46050257.
3. Knežević N., Karlović S., Takács K. [et al.], Consumer Satisfaction with the Quality and Availability of Gluten-Free Products, *Sustainability*, 2024, Vol. 16, No. 18, pp. 8215, DOI: 10.3390/su16188215.
4. Gustavo da Silva Gomes, Silva Guilherme Sousa, Silva Domingos Lucas dos Santos [et al.], Botanical Composition of Fabaceae Family in the Brazilian Northeast, Maranhão, Brazil, *Asian Journal of Environment & Ecology*, 2018, Vol. 6 (4), pp. 10, DOI: 10.9734/AJEE/2018/41207.
5. Dave K., Kumar A., Dave N. [et al.], Climate Change Impacts on Legume Physiology and Ecosystem Dynamics: A Multifaceted Perspective, *Sustainability*, 2024, Vol. 16, No. 14, pp. 6026, DOI: 10.3390/su16146026.
6. Odeku O.A., Oggunniyi Q.A., Ogbole O.O., Fettke J., Forgotten Gems: Exploring the Untapped Benefits of Underutilized Legumes in Agriculture, Nutrition, and Environmental Sustainability, *Plants*, 2024, Vol. 13, No. 9, pp. 1208, DOI: 10.3390/plants13091208.
7. Choreziak A., Rosiejka D., Michałowska J. [et al.], Nutritional Quality, Safety and Environmental Benefits of Alternative Protein Sources—An Overview, *Nutrients*, 2025, Vol. 17, pp. 1148, DOI: 10.3390/nu17071148.
8. Imam Yu.T., Ironi E.A., Awoyale W. [et al.], Application of legumes in the formulation of gluten-free foods: functional, nutritional and nutraceutical importance, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2024, Vol. 8, DOI: 10.3389/fsufs.2024.1251760.
9. Bopp V.L., Stupnitsky D.N., Danilov M.E., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2024, No. 4 (73), pp. 21–28. (In Russ.)
10. Draganskaya M.G., Savvicheva I.K., Leshchenko P.Yu., Adamkov V.N., Some results of ecological breeding of yellow lupine, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2020 All-Russian Conference with International Participation on Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants*, Bristol: IOP Publishing Ltd, 2021, pp. 012019, DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012019.
11. Singla D., Malik T., Singh A. [et al.], Advances in understanding wheat-related disorders: A comprehensive review on gluten-free products with emphasis on wheat allergy, celiac and non-celiac gluten sensitivity, *Food Chemistry Advances*, 2024, Vol. 4, pp. 100627, DOI: 10.1016/j.focha.2024.100627.
12. Zhang W., Boateng I.D., Xu J., Zhang Yi., Proteins from Legumes, Cereals, and Pseudo-Cereals: Composition, Modification, Bioactivities, and Applications, *Foods*, 2024, Vol. 13, No. 13, pp. 1974, DOI: 10.3390/foods13131974.
13. Vasyukova A.T., Kusova I.U., Moshkin A.V., *Health, Food & Biotechnology*, 2024, Vol. 6, No. 3, pp. 21–34. (In Russ.)
14. Koshak Zh.V., Rukshan L.V., Rusina A.N., Zenovich N.V., *Voprosy rybnogo khozyaistva Belarusi*, 2017, No. 33, pp. 156–166. (In Russ.)
15. Marchik T.P., Efremov A.L., *Pochvovedenie s osnovami rastenievodstva* (Soil Science with Basics of Plant Growing), Grodno: GrGU, 2006, 248 p.
16. Orlova A.G., Rapina O.G., *Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University*, 2019, Vol. 4, No. 57, pp. 17–22, DOI: 10.24411/2078-1318-2019-14017. (In Russ.)

Информация об авторах:

Е.В. Ульрих, доктор технических наук
 Д.Б. Подашев, доктор технических наук
 Н.А. Фролова, доктор технических наук
 А.В. Качанова, профессор

Contribution of the authors:

E.V. Ulrikh, Doctor of Technical Sciences
 D.B. Podashev, Doctor of Technical Sciences
 N.A. Frolova, Doctor of Technical Sciences
 A.V. Kachanova, professor

Вклад авторов:

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

ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОПРЕПАРАТОВ НА ПОДСОЛНЕЧНИКЕ В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

В.П. Цветкова, В.С. Масленникова, Е.В. Шелихова, А.А. Круговых, Е.А. Якимчук, М.И. Мирошник,
К.А. Табанюхов

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: vera.cvetkova.23.05@mail.ru

Для цитирования: Эффективность биопрепаратов на подсолнечнике в Новосибирской области / В.П. Цветкова, В.С. Масленникова, Е.В. Шелихова, А.А. Круговых, Е.А. Якимчук, М.И. Мирошник, К.А. Табанюхов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 129–137. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-129-137.

Ключевые слова: подсолнечник (*Helianthus annuus* L.), Фитоп 8.67, АФГ, биологизация, урожайность.

Реферат. Подсолнечник – важная масличная культура для Новосибирской области. Однако он восприимчив к различным болезням, которые приводят к снижению количества и качества урожая, ослаблению растений и их гибели. Применение биологических препаратов для стимуляции роста и защиты растений от возбудителей болезней актуально в условиях пестицидного стресса агроэкосистем. Цель исследований – оценка эффективности предпосевной обработки семян биологическими препаратами на подсолнечнике в условиях Новосибирской области. В задачи входило проведение полевых испытаний по влиянию препаратов на морфометрические показатели: высоту растений, количество листьев, диаметр корзинок, массу 1000 семян, биологическую эффективность биопрепаратов в снижении распространенности болезней корзинок подсолнечника. В результате исследований, проведенных в 2023–2024 гг. на базе УПХ «Сад Мичуринцев» Новосибирского ГАУ, установлено, что биопрепарат Фитоп 8.67 на основе бактерий *Bacillus amyloliquefaciens* и *B. subtilis* и бактериально-гуминовый комплекс АФГ оказывали ростостимулирующее действие на подсолнечник сорта Енисей. Установлено, что препарат Фитоп 8.67 способствовал увеличению высоты растений (в 1,4 раза) по сравнению с контролем в начальный период роста. Масса корзинок в среднем за два года увеличилась на 24,0 % (Фитоп 8.67) и 11,8 % (АФГ). Биологическая эффективность биопрепаратов в снижении распространенности корзиночной формы белой и серой гнилей составила 46,9 и 41,6 %. Полученные данные могут представлять интерес для разработки технологий возделывания подсолнечника в системах органического, экологизированного и интегрированного земледелия.

THE EFFECTIVENESS OF BIOLOGICAL PREPARATIONS ON SUNFLOWER IN NOVOSIBIRSK REGION

V.P. Tsvetkova, V.S. Maslennikova, E.V. Shelikhova, A.A. Krugovykh, E.A. Iakimchuk, M.I. Miroshnik,
K.A. Tabanykhov

Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russia

E-mail: vera.cvetkova.23.05@mail.ru

Keywords: sunflower (*Helianthus annuus* L.), Fitop 8.67, AFG, biologization, crop yield.

Abstract: Sunflower is an important oil crop for the Novosibirsk region. However, it is very susceptible to various diseases that can lead to a decrease in the quantity and quality of the harvest, weakening of the plants and their death. The use of biological preparations to stimulate plant growth and protect plants from pathogens is relevant in conditions of pesticide stress in agroecosystems. The purpose of the research is to evaluate the effectiveness of pre-sowing seed treatment with biological preparations on sunflower in the conditions of the Novosibirsk region. The tasks included conducting field tests on the effect of biological preparations on morphometric parameters: plant height, number of leaves, diameter of capsules, weight of 1000 seeds, biological effectiveness of preparations in reducing the prevalence of diseases of sunflower capsules. As a result of studies conducted in 2023–2024 on the grounds of the Novosibirsk State Agricultural University's «Michurintsev Garden» it was found that the biopreparation Fitop 8.67 based on the bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* and *B. subtilis* and the bacterial-humic complex AFG had a growth-stimulating effect on sunflower variety «Yenisei». It was found that the Fitop 8.67 contributed to an increase in plant height (by 1.4 times) compared with the control during the initial growth period. The weight of capsules increased by an average of 24.0 % (Fitop 8.67) and 11.8 % (AFG).

in 2 years. The biological effectiveness of biological products in reducing the prevalence of the capsular form of white and gray rot was 46.9 % and 41.6 %. The obtained data may be of interest for the development of sunflower cultivation technologies in organic, environmentally friendly and integrated farming systems.

Подсолнечник (*Helianthus annuus* L.) – перспективная и наиболее рентабельная [1] масличная культура в Российской Федерации и Новосибирской области. Расширение площади его посевов связано с высокой рентабельностью возделывания культуры и востребованностью на зарубежных рынках. Свойства и особенности развития культуры позволяют использовать ее в почвозащитных целях [2]. Площади под подсолнечником в Новосибирской области в 2021 г. составили 19,7 тыс. га [3] и продолжают увеличиваться.

Подсолнечник в настоящее время считается четвертой по значимости масличной культурой в мире после пальмы, сои и рапса. Однако он очень восприимчив к различным болезням, таким как ржавчина, белая и серая гниль, фомоз, альтернариоз, септориоз, фомопсис, которые могут привести к снижению количества и качества урожая, ослаблению растений и их гибели. Серая и белая гнили являются основными патогенами, влияющим на качество многих культур.

Внедряемые адаптивно-ландшафтные системы земледелия предусматривают минимизацию энергетических затрат, а также повышение количества и качества урожая без ущерба окружающей среде. Одним из элементов реализации такого подхода может стать применение микробиологических препаратов [4, 5]. Работами многих ученых доказано влияние микроорганизмов на обмен веществ в растении, в результате которого происходит изменение процессов роста и развития всего организма или отдельных его органов и повышается устойчивость к стрессовым факторам [6–9]. Немаловажно и то, что использование биопрепаратов в агротехнологиях возделывания культур способствует улучшению экологической обстановки за счет снижения доз применяемых минеральных удобрений и пестицидной нагрузки на растения. Однако включение таких препаратов в технологию возделывания культуры должно сопровождаться проверкой их влияния на рост, развитие и продуктивность растений.

Цель исследования – оценка эффективности применения биологических препаратов на подсолнечнике в условиях Новосибирской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в 2023–2024 гг. в УПХ «Сад Мичуринцев», расположенного в Новосибирской области, г. Новосибирске. Для обработки семян подсолнечника, районированного в Западно-Сибирском регионе сорта Енисей (оригинатор – ФГБНУ ФИЦ «Красноярский Научный Центр СО РАН»), использовали биопрепарат Фитоп 8.67 (на основе смеси штаммов *Bacillus amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10643, *B. subtilis* ВКПМ В-10641), предоставленный ООО НПФ «Исследовательский центр» (Новосибирск, р.п. Кольцово) и бактериально-гуминовый комплекс АФГ (споровая биомасса бактерий: *Bacillus subtilis* штамм ВКПМ В-10641, *Bacillus amyloliquefaciens* штамм ВКПМ В-10642, *Bacillus amyloliquefaciens* штамм ВКПМ В-10643, нормализованный безбалластный раствор калиевых и натриевых солей, природных гуминовых кислот, фульвовых кислот, микроэлементы (К, Са, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, В, Мо), предоставленный ООО «НПО АГРО-ФИТ» (г. Новосибирск) [10].

Перед посевом семена подсолнечника в течение одного часа замачивали согласно схеме опыта: 1. Контроль (обработка водой); 2. Фитоп 8.67 (2 мл/т); 3. АФГ (0,33 л/т). Посев проведен 01.06.2023 и 31.05.2024. Полевые опыты проводили в трехкратной повторности на серой лесной тяжелосуглинистой почве со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса в пахотном горизонте 3,1–3,9 %, азота нитратного 11–12,5 мг/кг, азота аммиачного 9,2–11,9 мг/кг, подвижного фосфора (по Чирикову) 179–182 мг/кг, обменного калия (по Масловой) 196–202 мг/кг почвы. Сумма поглощенных оснований 31,1–48,0 мг.-экв. на 100 г почвы, рН солевой 7,1–7,5 (данные центра агрохимической службы «Новосибирский»). Общая площадь делянки – 60 м², учетной – 25 м², размещение вариантов – систематическое. Предшественник – черный пар. Агротехника опыта включала зяблевую вспашку в конце сентября – начале октября, весновспашку, культивацию (15–20 см), прополку. Так как биопрепараты не заменяют удобрений, а дополняют их в системе питания культуры, повышают коэффициент использования питательных веществ из почвы, перед посевом было

внесено удобрение Кемира (NPK 10,7:8,7:16). Уборка производилась вручную. Из биометрических показателей определялись: высота растений, количество листьев. При уборке подсолнечника учитывали: диаметр и массу корзинок, массу 1000 семян. Распространенность болезней на корзинках при уборке производилась по формуле

$$P = n \times 100 / N,$$

где n – количество пораженных растений; N – общее количество учетных растений.

Идентификацию микроорганизмов устанавливали сравнением культуральных и морфологических признаков с приведенными в литературе данными.

Биологическую эффективность препаратов рассчитывали по формуле

$$БЭ = (a - б) / a \times 100,$$

где БЭ – снижение распространенности болезни к контролю, %; a – распространенность болезни в контроле; $б$ – то же в опытном варианте [11].

Важнейшими факторами формирования урожайности подсолнечника является тепло- и влагообеспеченность на протяжении всего периода вегетации. Погодные условия в годы проведения исследований значительно различались. Вегетационный сезон 2023 г. характеризовался острым недостатком влаги в мае-июне, ГТК = 0,18 и 0,46 соответственно. При этом среднесуточная температура воздуха составила 11,8 °C что на 0,1 °C

ниже нормы. В августе недостаточное увлажнение сменилось проливными дождями – 112,3 мм осадков (194 % от нормы), влагообеспеченность месяца – избыточная ГТК = 2,04. В 2023 г. ГТК составил 0,98, что указывает на условия, несколько менее благоприятные по увлажнению, чем в среднем за многолетний период (1,13). В 2024 г., напротив, в соответствии с характеристикой уровня влагообеспеченности территории по Г.Т. Селянинову, вегетационный период в месте проведения экспериментов характеризовался как избыточно увлажненный: ГТК = 1,8.

Статистическую обработку данных, полученных в полевых опытах, проводили с помощью двухфакторного дисперсионного анализа (two-way ANOVA) с использованием пакета прикладных компьютерных программ GraphPad PRISM 8.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обработка семян подсолнечника биологическими препаратами приводила к активизации ростовых процессов. Анализ морфометрических данных показал статистически достоверное увеличение высоты опытных растений в начале вегетации (вторая декада июля и первая декада июня). Через месяц после посева в 2023 г. растения опытных вариантов были выше контрольных в 1,4 раза ($p < 0,05$) (рис. 1).

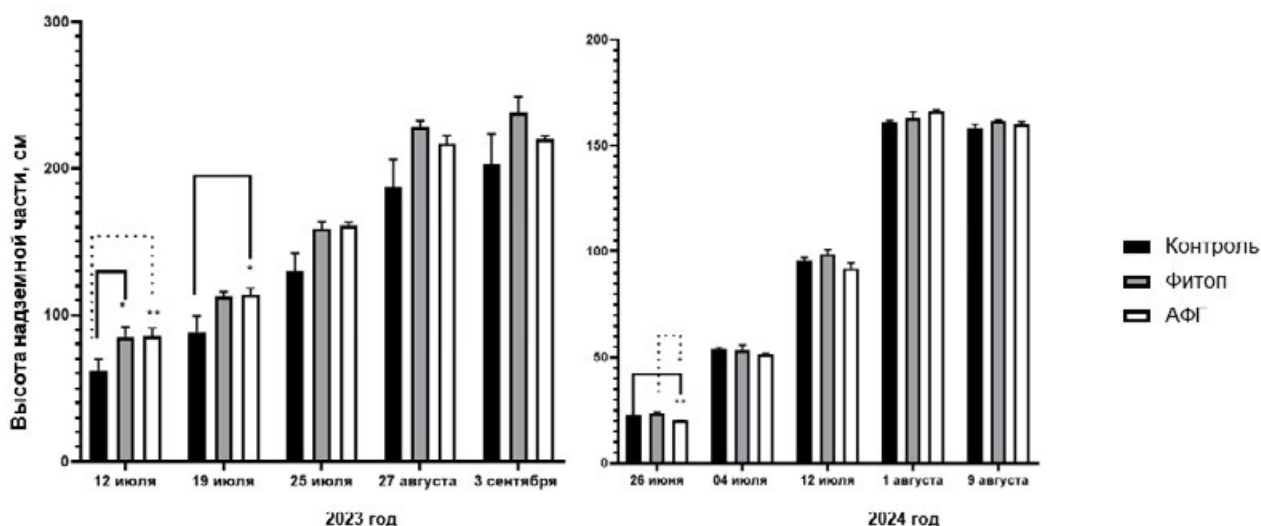


Рис. 1. Влияние биопрепаратов Фитоп 8.67 и АФГ на высоту надземной части подсолнечника сорта Енисей в 2023–2024 гг., * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,001$

The influence of biopreparations Fitop 8.67 and AFG on the height of the aboveground part of the Yenisei sunflower variety in 2023–2024, * – $p < 0.05$, ** – $p < 0.001$

Ускоренное формирование листьев было заметно также в начальный период роста растений (рис. 2), особенно в вариантах с применением препарата Фитопа 8.67 (2024 г.) ($p < 0,001$). Далее

в период вегетации опытные варианты не отличалась статистической значимостью по количеству листьев при сравнении с контролем ($p < 0,07$).

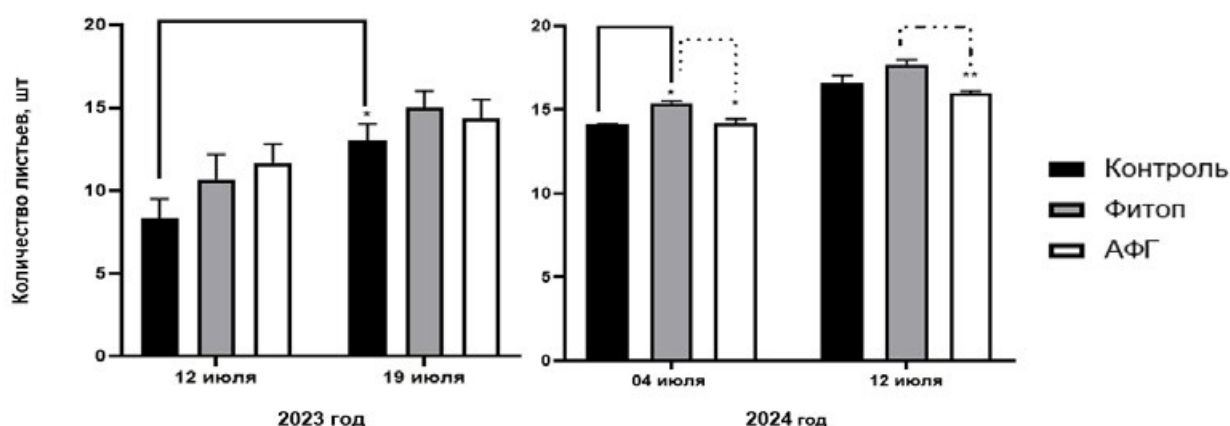


Рис. 2. Влияние биопрепаратов Фитоп 8.67 и АФГ на количество листьев подсолнечника сорта Енисей в 2023–2024 гг., * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,001$

The effect of biopreparations Fitop 8.67 and AFG on the number of leaves of sunflower variety Yenisei in 2023–2024, * – $p < 0.05$, ** – $p < 0.001$

Масса корзинок подсолнечника увеличилась в среднем за два года в вариантах с применением препаратов Фитоп 8.67 и АФГ на 24,0 % и 11,8 % соответственно по сравнению с контрольным

вариантом (таблица). При этом меньше всего мелких корзинок было при обработке семян биопрепаратом Фитоп 8.67 (рис. 3–4.).

Влияние биопрепаратов на элементы структуры урожая подсолнечника сорта Енисей в 2023–2024 гг.
The influence of biopreparations on the structural elements of the Yenisei sunflower crop in 2023–2024

Вариант	Год	Масса одной корзины, г	Масса 1000 семян, г	Диаметр корзины, см	Распространенность болезней на корзинах, %
Контроль	2023	533,0	82,7	15,5	17,2
	2024	644,0	79,4	25,2	54,7
Среднее		588,5	81,05	20,35	35,95
Фитоп 8.67	2023	669,3*	90,8**	18,3	8,7
	2024	790,5*	96,6**	27,5	30,4
Среднее		729,9	93,7	22,9	19,55
АФГ	2023	629,8*	95,9**	18,3	7,6
	2024	686,9*	90,4**	24,7	39,7
Среднее		658,35	93,15	21,5	23,65

* – $p < 0,05$, ** – $p < 0,001$.

В эксперименте диаметр корзинок в контроле в среднем за два года был равен 20,35 см, а при обработке семян биопрепаратом Фитоп 8.67 – 22,9 см, при обработке семян препаратом АФГ – 21,5 см, однако данные статистически не значимы

($p < 0,06$). Масса 1000 семян была выше контроля на 12,6 г в варианте с применением препарата Фитоп 8.67 ($p < 0,001$) и на 12,1 г – при обработке АФГ ($p < 0,001$).

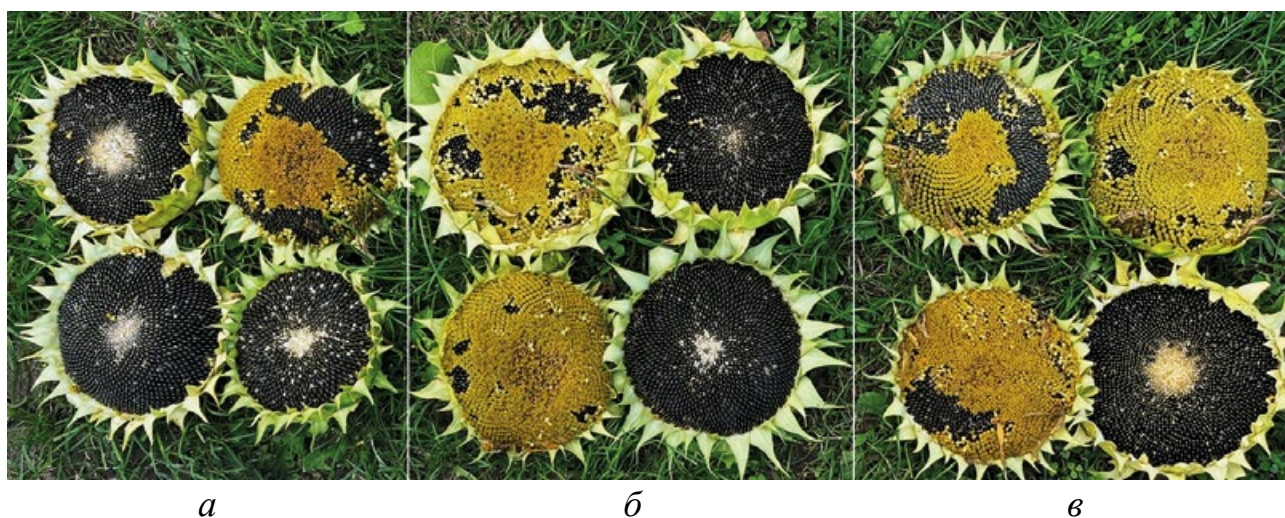


Рис. 3. Внешний вид корзинок подсолнечника по вариантам: а – контроль, б – Фитоп 8.67, в – АФГ
Appearance of sunflower heads by variants: a – control, b – Fitop 8.67, c – AFG

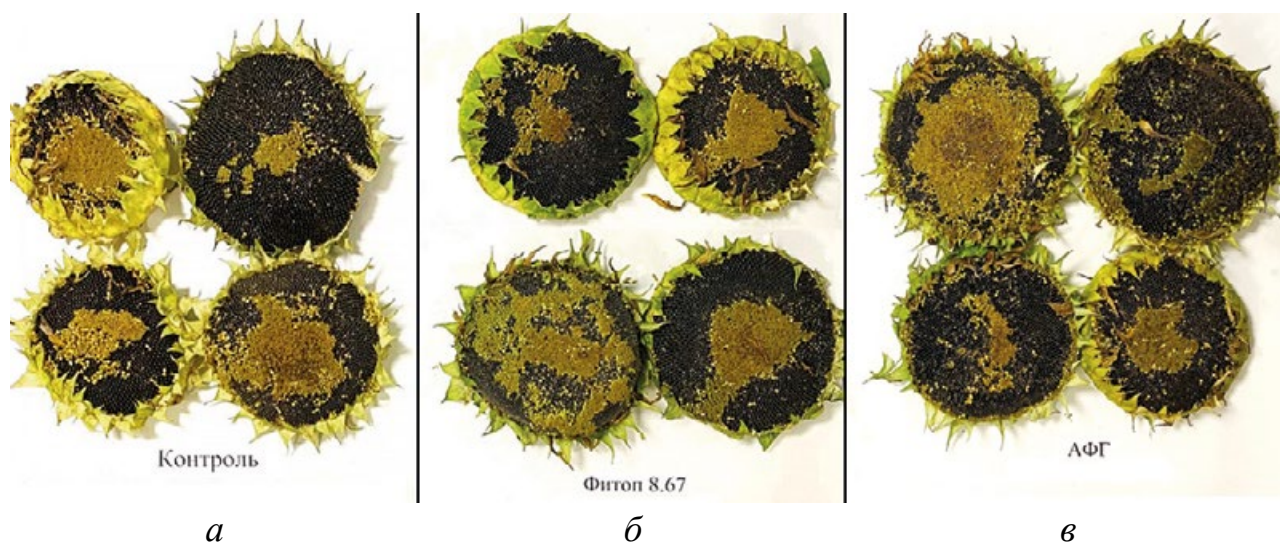


Рис. 4. Внешний вид корзинок подсолнечника по вариантам: а – контроль, б – Фитоп 8.67, в – АФГ
Appearance of sunflower heads by variants: a – control, b – Fitop 8.67, c – AFG

Поскольку вегетационный период 2024 г. отличался большим количеством осадков, растения подсолнечника поражались возбудителями различных заболеваний. Во время учетов были отмечены вегетирующие растения с недоразвитыми корзинками, не давшие урожай; корзинками и сменами с поражением серой (*Botrytis cinerea* Pers. ex. Fr.) и белой гнилью (*Sclerotinia sclero-*

tiorum de Bary) (рис. 5). Однако при применении биопрепаратов распространенность болезней снижалась в 1,1 (АФГ) – 1,8 (Фитоп 8.67) раза. В 2023 г. распространенность болезней на корзинках была невысокой, тем не менее биологические препараты снижали ее в 1,9–2,3 раза относительно контроля.



Рис. 5. Вид подсолнечника, пораженного серой гнилью
A type of sunflower affected by gray mold

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В наших исследованиях при предпосевной обработке семян подсолнечника биологическая эффективность препаратов Фитоп 8.67 и АФГ в отношении серой и белой гнили корзинок в 2023 г. составила 49,4 и 55,8 % соответственно, в 2024 г. – 44,4 и 27,4 %. Подобный эффект может быть обусловлен наличием в биопрепаратах бактерий *Bacillus subtilis* и *Bacillus amyloliquefaciens*, способных продуцировать гидролитические ферменты, антибиотики, сидерофоры, индол-3-уксусную кислоту, что может объяснить их фунгицидное действие [12–15]. Ранее показано, что штаммы, входящие в исследуемые биопрепараты, обладают высокой антифунгальной активностью в отношении *B. cinerea* на чашках Петри [16]. Ростостимулирующее действие штаммов бактерий *B. amyloliquefaciens* и *B. subtilis*, входящих в биопрепараты, проявилось в увеличении в течение вегетации значений таких морфометрических показателей растений, как количество листьев и длина надземной части. Площадь и количество листьев является важным показателем роста культур, поскольку связана с накоплением сухого вещества и фотосинтетической способностью [17]. В 2023 г. бактериальные агенты статистически достоверно оказывали положительное влияние на рост растений в засушливой почве. Таким образом, помимо ростостимулирующего действия микроорганизмы способствовали снижению стрессовых факторов. Однако в 2024 г. разница

по морфометрическим показателям была незначительной, так как высокая влажность обеспечивала хорошее развитие растений и в контрольном варианте. Ранее было установлено, что диаметр корзинки, завязываемость семян, урожайность семян, масса 1000 семян, содержание сырого масла и сырого протеина варьировали в зависимости от степени дефолиации листьев у некоторых экотипов подсолнечника [18]. В нашем исследовании также показано, что при увеличении количества листьев в начальный период роста подсолнечника, статистически достоверно увеличивается масса одной корзинки и масса 1000 семян.

Наши результаты хорошо согласуются с данными, полученными при испытании препаратов Фитоп 8.67 и АФГ на посевах рапса, где предпосевная обработка семян обеспечивала прибавку урожая на 7–11 % [19], а также на посевах кукурузы, где обработка дала увеличение длины початков по сравнению с контролем на 2,6 см и урожайности – в 1,4 раза при применении АФГ [20].

ВЫВОДЫ

1. В результате двухлетних полевых испытаний биологических препаратов Фитоп 8.67 и АФГ на подсолнечнике сорта Енисей установлено, что предпосевная обработка семян способствует увеличению высоты растений в 1,2–1,4 раза и количества листьев – в 1,1–1,3 раза в начальный период роста относительно контроля.

2. Действие биопрепарата Фитоп 8.67 проявилось в экстремальных условиях засушливого вегетационного периода 2023 г. в увеличении массы корзинки (в 1,3 раза) и массы 1000 семян (в 1,1 раза). В условиях избыточного увлажнения 2024 г. влияние биопрепаратов на массу 1000 семян также было достоверно выше контроля в 1,1 раза (АФГ) и 1,2 раза (Фитоп 8.67).

3. Биологическая эффективность против белой (склеротиниоз) и серой гнили на естественном инфекционном фоне в период созревания корзинок в варианте с обработкой Фитоп 8.67

(2 мл/т) составила 49,4 и 44,4 % соответственно, в варианте с применением АФГ (0,33 л/т) – 55,8 и 27,4 %.

4. Полученные данные могут представлять интерес для разработки технологий возделывания подсолнечника в системах органического, экологизированного и интегрированного земледелия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Федеральной научно-технической программы развития генетических технологий на 2019–2030 годы (соглашение № 075-15-2025-473).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бушнев А.С., Курилова Д.А., Котлярова И.А. О ризосфере полевых культур и факторах, влияющих на динамику ее микробиоты // Масличные культуры. – 2023. – Вып. 4 (196). – С. 97–109.
2. Природоподобные технологии возделывания полевых культур в системе прямого посева / В.К. Дридигер, Е.И. Годунова, Р.Г. Гаджиумаров [и др.] // Земледелие. – 2025. – № 1. – С. 3–9. – DOI: 10.24412 /0044-3913-2025-1-3-9.
3. Министерство сельского хозяйства Новосибирской области: [сайт]. – Новосибирск, URL: <https://mcx.nso.ru/news/4872> (дата обращения: 08.12.2023).
4. Павлюшин В.А., Новикова И.И., Бойкова И.В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика (обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2020. – № 3. – С. 421–438. – DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.421rus.
5. Маслиенко Л.В., Ефимцева Е.А., Дейнега Л.А. Перспективные штаммы антагонисты возбудителя фомоза на подсолнечнике: оценка фитотоксичности и ростостимулирующей активности // Масличные культуры. – 2023. – № 2 (194). – С. 101–106. – DOI: 10.25230/2412-608X-2023-2-194-101-106.
6. Маслиенко Л.В., Дейнега Л.А., Заверюха Е.А. Механизм антагонистического действия перспективного бактериального штамма 5Б1 *Bacillus subtilis* на возбудителя сухой гнили подсолнечника *Rhizopus oryzae* Went & Prins. Geerl. // Масличные культуры. – 2025. – Вып. 2 (202). – С. 110–114.
7. Влияние лабораторных образцов биопрепаратов и их смесей с органоминеральными удобрениями на рост и развитие растений озимой пшеницы и подсолнечника / А.А. Цыгичко, А.М. Асатурова, Н.А. Жевнова [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – Т. 20, № 6. – С. 602–612.
8. Shcatula Y. Effect of mineral fertilizers and biological preparations on sunflower productivity // The Scientific Heritage. – 2021. – № 61–2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effect-of-mineral-fertilizers-and-biological-preparations-on-sunflower-productivity> (дата обращения: 03.09.2025).
9. Plant Biostimulants to Enhance Abiotic Stress Resilience in Crops / L. Di Sario, P. Boeri, J.T. Matus, G.A.mPizzio // Int. J. Mol. Sci. – 2025. – № 26 (3). – P. 1129. – DOI: 10.3390/ijms26031129.
10. Полифункциональное средство для растений: Патент № 2729388 С1 / Воронин Ю.А.; заявл. 31.03.2020; опубл. 06.08.2020, Бюл. 22. – 14 с.
11. Adeleke B.S., Babalola O.O. Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: nutritional and health benefits // Food Sci. – 2020. – № 8 (9). – P. 4666–4684. – DOI: 10.1002/fsn3.1783.
12. Adeleke B.S., Ayangbenro A.S., Babalola O.O. In vitro Screening of Sunflower Associated Endophytic Bacteria With Plant Growth-Promoting Traits // Front. Sustain. Food Syst. – 2022. – Vol. 6. – P. 903114. – DOI: 10.3389/fsufs.2022.903114.
13. Biocontrol potential and action mechanism of *Bacillus amyloliquefaciens* DB2 on *Bipolaris sorokiniana* / P. Luan, Y. Yi, Y. Huang [et al.] // Front. Microbiol. – 2023. – Vol. 14. – P. 1149363. – DOI: 10.3389/fmicb.2023.1149363.
14. Examination of the Bactericidal and Fungicidal Activity of *Bacillus amyloliquefaciens* M Isolated from Spring Waters in Bulgaria / B. Goranov, Y. Gaytanska, R. Denkova-Kostova [et al.] // Appl. Sci. – 2024. – Vol. 14. – P. 3612. – DOI: 10.3390/app14093612.
15. Soliman S.A., Khaleil M.M., Metwally R.A. Evaluation of the Antifungal Activity of *Bacillus amyloliquefaciens* and *B. velezensis* and Characterization of the Bioactive Secondary Metabolites Produced against Plant Pathogenic Fungi. Biology. – 2022. – Vol. 11. – P. 1390. – DOI: 10.3390/biology11101390.

16. Влияние бактерий *Bacillus spp.* на возбудителя серой гнили земляники и устойчивость растения к болезни / М.В. Штерншис, А.А. Беляев, Т.В. Шпатова, А.А. Леяк // Сибирский экологический журнал. – 2015. – Т. 22, № 3. – С. 478–485. – DOI: 10.15372/SEJ20150315. – EDN TWKUCL.
17. Фотосинтетическая продуктивность и структура урожая яровой пшеницы под влиянием нанокремния в сравнении с биологическим и химическим препаратами / А.А. Хорошилов, Н.Е. Павловская, Д.Б. Бородин, И.В. Яковлева // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56, № 3. – С. 487–499. – DOI: 10.15389/agrobiology.2021.3.487rus.
18. Karadogan T., Akgün İ. Effect of leaf removal on sunflower yield and yield components and some quality haracters // *Helia*. – 2014. – Vol. 32 (50). – P. 123–133. – DOI: 10.2298/HEL0950123K.
19. Влияние предпосевной обработки семян биопрепаратами на почвенную микробиоту и продуктивность ярового рапса / В.С. Масленникова, Е.В. Шелихова, А.А. Круговых [и др.] // Плодородие. – 2024. – № 3 (138). – С. 74–79. – DOI: 10.24412/1994-8603-2024-3138-74-79.
20. Влияние микробных и гуминовых препаратов на ризосферную микробиоту и урожайность кукурузы / В.С. Масленникова, В.П. Цветкова, Е.В. Шелихова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2025. – Т. 39, № 4. – С. 37–44. – DOI: 10.53859/02352451_2025_39_4_37.

REFERENCES

1. Bushnev A.S., Kurilova D.A., Kotlyarova I.A., *Oilseed Crops*, 2023, No. 4 (196), pp. 97–109. (In Russ.)
2. Dridiger V.K., Godunova E.I., Gadjiumarov R.G. et al., *Agriculture Bulletin*, 2025, No. 1, pp. 3–9, DOI: 10.24412/0044-3913-2025-1-3-9. (In Russ.)
3. Ministry of Agriculture of the Novosibirsk Region: website, Novosibirsk, URL: <https://mcx.nso.ru/news/4872> (accessed December 8, 2023). (In Russ.)
4. Pavlyushin V.A., Novikova I.I., Boikova I.V., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2020, No. 3, pp. 421–438, DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.421rus. (In Russ.)
5. Maslienکو, L.V., Yefimceva E.A., Deynega L.A., *Oilseed Crops*, 2023, No. 2 (194), pp. 101–106, DOI: 1025230/2412-608X-2023-2-194-101-106. (In Russ.)
6. Maslienکو, L.V., Deynega L.A., Zaveryuha E.A., *Oilseed Crops*, 2025, No. 2 (202), pp. 110–114. (In Russ.)
7. Asaturova A.M., Zhevnova N.A., Tsygichko A.A. et al., *Agricultural Science Euro-North-East*, 2019, No. 20 (6), pp. 602–612. (In Russ.)
8. Shcatula Y., Effect of mineral fertilizers and biological preparations on sunflower productivity, *The Scientific Heritage*, 2021, No. 61–2, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effect-of-mineral-fertilizers-and-biological-preparations-on-sunflower-productivity> (дата обращения: 03.09.2025).
9. Di Sario L., Boeri P., Matus J.T., Pizzio G.A., Plant Biostimulants to Enhance Abiotic Stress Resilience in Crops, *Int. J. Mol. Sci.*, 2025, No. 26 (3), pp. 1129, DOI: 10.3390/ijms26031129.
10. Voronin Y.A., Polyfunctional agent for plants: *Patent No. 2729388 C1 Russian Federation*, IPC A01N 63/00, C12N 1/20 Application No. 2020112731 filed on 31.03.2020, published on 06.08.2020, 14 p. (In Russ.)
11. Adeleke B.S., Babalola O.O., Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: nutritional and health benefits, *Food Sci*, 2020, No. 8, pp. 4666–4684, DOI: 10.1002/fsn3.1783.
12. Adeleke B.S., Ayangbenro A.S., Babalola O.O., In vitro Screening of Sunflower Associated Endophytic Bacteria With Plant Growth-Promoting Traits, *Front. Sustain. Food Syst.*, 2022, No. 6, pp. 903114, DOI: 10.3389/fsufs.2022.903114.
13. Luan P., Yi Y., Huang Y., Cui L., Hou Z., Zhu L., Ren X., Jia S., Liu Y., Biocontrol potential and action mechanism of *Bacillus amyloliquefaciens* DB2 on *Bipolaris sorokiniana*. *Front. Microbiol.*, 2023, No. 14, pp. 1149363, DOI: 10.3389/fmicb.2023.1149363.
14. Goranov B., Gaytanska Y., Denkova-Kostova R., Ivanova P., Denkova Z., Kostov G., Examination of the Bactericidal and Fungicidal Activity of *Bacillus amyloliquefaciens* M Isolated from Spring Waters in Bulgaria, *Appl. Sci.*, 2024, No. 14 (9), pp. 3612, DOI: 10.3390/app14093612.
15. Soliman S.A., Khaleil M.M., Metwally R.A., Evaluation of the Antifungal Activity of *Bacillus amyloliquefaciens* and *B. velezensis* and Characterization of the Bioactive Secondary Metabolites Produced against Plant Pathogenic Fungi., *Biology*, 2022, No. 11, pp. 1390, DOI: 10.3390/biology11101390.
16. Shternshiss M.V., Belyaev A.A., Shpatova T.V., Lelyak A.A., *Siberian Ecological Bulletin*, 2015, No. 3 (22), pp. 478–485, DOI: 10.15372/SEJ20150315, EDN TWKUCL. (In Russ.)
17. Horoshilov A.A., Pavlovskaya N.E., Borodin D.B., Yakovleva I.V., *Agrivultural Biology*, 2021, No. 3 (56), pp. 487–499, DOI: 10.15389/agrobiology.2021.3.487rus. (In Russ.)
18. Karadogan T., Akgün İ., Effect of leaf removal on sunflower yield and yield components and some quality haracters, *Helia*, 2014, No. 32, pp. 123–133, DOI: 10.2298/HEL0950123K.
19. Maslennikova V.S., Shelikhova E.V., Tsvetkova V.P et al., *Fertility Bulletin*, 2024, No. 3, pp. 74–79. (In Russ.)

20. Maslennikova V.S., Tsvetkova V.P., Shelikhova E.V. et al., *Achievements of science and technology in the agro-industrial complex Bulletin*, 2025, No. 4 (39), pp. 37–44, DOI: 10.53859/02352451_2025_39_4_37. (In Russ.)

Информация об авторах:

В.П. Цветкова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры защиты растений

В.С. Масленникова, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории биологической защиты растений и биотехнологии

Е.В. Шелихова, научный сотрудник лаборатории биологической защиты растений и биотехнологии

А.А. Круговых, аспирант

Е.А. Якимчук, аспирант

М.И. Мирошник, аспирант

К.А. Табанюхов, научный сотрудник лаборатории биологической защиты растений и биотехнологии

Contribution of the authors:

V.P. Tsvetkova, doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Plant Protection

V.S. Maslennikova, doctor of Agricultural Sciences, Researcher at the Laboratory of Biological Plant Protection and Biotechnology

E.V. Shelikhova, Researcher at the Laboratory of Biological Plant Protection and Biotechnology

A.A. Krugovykh, PhD student

E.A. Iakimchuk, PhD student

M.I. Miroshnik, PhD student

K.A. Tabanykhov, Researcher at the Laboratory of Biological Plant Protection and Biotechnology

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ КАРТОФЕЛЕВОДЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ХАКАСИИ

¹В.В. Чагин, ¹Е.Ю. Жукова, ²А.И. Капсаргин, ³Н.В. Гаврилец, ¹В.С. Иванов

¹Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Хакассия

²Хакасский филиал ФГБУ «РосАгрохимслужба», Абакан, Хакассия

³Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: chagin2008@gmail.com

Для цитирования: Особенности реализации картофелеводческого потенциала Хакасии / В.В. Чагин, Е.Ю. Жукова, А.И. Капсаргин, Н.В. Гаврилец, В.С. Иванов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 138–149. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-138-149.

Ключевые слова: картофель, почвенно-климатические условия, урожайность, крахмалистость, уравнения регрессии.

Реферат. Вопросы продовольственной безопасности Российской Федерации являются базовыми для сельскохозяйственного производства страны в контексте элементов национальной безопасности. Для решения данных вопросов необходим первичный анализ основополагающих условий производства продовольствия в субъектах страны. Республика Хакасия является одним из регионов, обладающих сложными почвенно-климатическими составляющими территории для ведения высокотоварного сельского хозяйства. Лимитирующим фактором для основной сельскохозяйственной зоны – степной – является влагообеспеченность, для подтаёжной – сумма активных температур. Благодаря таким условиям складываются специфические показатели плодородия сельскохозяйственных угодий. Средневозвешенное содержание гумуса колеблется по районам от 3,8 до 7,9 %, подвижного фосфора – от 9,7 до 21,2 мг/кг, обменного калия – от 251,5 до 417,5 мг/кг. Согласно данным статистики, из общей площади посевных земель приходится около 3 % под картофель и овощебахчевые культуры для коллективных и крестьянских (фермерских) хозяйств. При условии внесения 5,6 кг действующего вещества минеральных удобрений и 0,1 т органических удобрений на гектар отмечается невысокая урожайность картофеля – от 6,64 до 12,8 т на гектар. Согласно результатам сортоизучения картофеля кафедрой агротехнологий и ветеринарной медицины, урожайность клубней картофеля по отдельным сортам может достигать 29,2 т/га (Лина) и 30,9 т/га (Сарма). Результаты дисперсионного анализа показали, что вклад фактора «сорт» составил 53,8 %, метеорологические условия в период вегетации – 36,2 % и взаимодействие факторов «сорт» и «год» – 10 %. Использование высокопродуктивных сортов высоких репродукций, точное соблюдение сроков и агротехнических требований технологии возделывания культуры, обеспечение элементами питания под программируемый урожай на основе агрохимических результатов обследования способствуют увеличению валовых сборов картофеля на 186,3–272,9 %.

FEATURES OF THE REALIZATION OF THE POTATO-GROWING POTENTIAL OF KHAKASSIA

¹V.V. Chagin, ¹E.Y. Zhukova, ²A.I. Kapsargin, ³N.V. Gavrillets, ¹V.S. Ivanov

¹Khakass State University named after N.F. Katanov, Abakan, Khakassia

²Khakass branch of the Federal State Budgetary Institution “RosAgrokhimsluzhba”, Abakan, Khakassia

³Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: chagin2008@gmail.com

Keywords: potatoes, soil and climatic conditions, yield, starch content, regression equations.

Abstract. The issues of food security of the Russian Federation are basic for the country's agricultural production in the context of the elements of national security. To address these issues, a primary analysis of the fundamental conditions of food production in the country's regions is necessary. The Republic of Khakassia is one of the regions with complex soil and climatic components of the territory for high-commodity agriculture. The limiting factor for the main agricultural zone, the steppe zone, is moisture availability, while for the subtaiga zone it is the sum of active temperatures. Due to such conditions, specific indicators of agricultural land fertility are

formed. The weighted average content of humus varies by region from 3.8 to 7.9 %, mobile phosphorus – from 9.7 to 21.2 mg/kg, exchangeable potassium – from 251.5 to 417.5 mg/kg. According to statistics, about 3 % of the total area of cultivated land is used for potatoes and vegetable crops for collective and peasant (farming) farms. Under the condition of applying 5.6 kg of the active substance of mineral fertilizers and 0.1 tons of organic fertilizers per hectare, there is a low yield of potatoes – from 6.64 to 12.8 tons per hectare. According to the results of the potato variety study by the Department of Agricultural Technologies and Veterinary Medicine, the yield of potato tubers in individual varieties can reach 29.2 t/ha (Lina) and 30.9 t/ha (Sarma). The results of the variance analysis showed that the contribution of the “grade” factor was 53.8 %, meteorological conditions during the growing season – 36.2 %, and the interaction of the “grade” and “year” factors was 10 %. The use of highly productive varieties of high reproductions, precise observance of deadlines and agrotechnical requirements of crop cultivation technology, provision of nutrition elements for a programmable harvest based on agrochemical survey results contribute to an increase in gross potato yields by 186.3–272.9 %.

Решение проблем, связанных с продовольственной безопасностью Российской Федерации, является одним из приоритетных направлений сельского хозяйства страны [1, 2]. Обеспечение столь амбициозных целей возможно в результате всесторонней и слаженной политики административных субъектов, позволяющих учитывать региональные особенности каждого конкретного субъекта и его потенциала в структуре этого стратегически важного вопроса [3–6]. Республика Хакасия является одним из регионов, имеющих относительно невысокую площадь пашни (647,9 тыс. га) и сложные почвенно-климатические составляющие территории. Данные условия, в том числе недостаточное выполнение требований агротехники культур, использование большого процента несортных семян, низкий объем внесения органических и минеральных удобрений, сказываются на уровне урожайности сельскохозяйственных культур, в частности, картофеля (7–13 т/га). Всесторонний анализ условий региона и полное использование потенциала территории на основе научных исследований кафедры агротехнологий и ветеринарной медицины Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова [7] и агрохимических анализов Хакасского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба» позволяет вплотную приблизиться к соблюдению всех основных законов земледелия на конкретной территории. Акцентирование внимания на оптимизации всех факторов роста и развития растений картофеля позволяет существенно повысить валовые сборы клубней картофеля за счет значительного повышения урожайности культуры [8, 9].

Целью исследования является характеристика картофелеводческого потенциала Республики Хакасия при использовании высокопродуктивных сортов картофеля.

Статья отражает некоторые вопросы, рассмотренные в рамках соглашения № 94 от 13.12.2022

по проекту «Оценка секвестрации углерода растительностью техногенно нарушенных территорий Республики Хакасия».

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве исходного материала для анализа картофелеводческого потенциала Республики Хакасия использовались метеорологические данные по количеству осадков и средней температуре месяца вегетационных периодов по всем пунктам получения данных Республики Хакасия за 2016–2024 гг.

Использование многолетних отчетов Государственной станции агрохимической службы «Хакасская» позволило вывести средневзвешенные показатели по содержанию гумуса, подвижного фосфора, обменного калия и кислотности почв по всем восьми административным районам Республики Хакасия (Алтайский, Аскизский, Бейский, Богградский, Орджоникидзевский, Таштыпский, Усть-Абаканский, Ширинский), а также проанализировать объемы внесения минеральных и органических удобрений за длительный временной период [10, 11].

Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2023 году» позволил ознакомиться с общей характеристикой земельного фонда, его структурой, распределением земель сельскохозяйственного назначения по угодьям и общей оценкой качественного состояния земель [12].

В результате анализа многолетних отчетов Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Хакасия были получены данные по посадочной и уборочной площади культуры картофеля, урожайности и валового сбора клубней картофеля в коллективных и крестьянских (фермерских) хозяйствах региона [13].

Для сравнительного анализа получения картофеля провели исследования, связанные с сортоизучением картофеля различных групп спелости на опытном поле Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. Почва опытного участка – темно-каштановая легкосуглинистая. Содержание гумуса в пахотном горизонте составило 2,8 % при pH 8,0, что указывает на слабощелочной показатель.

Опыты проводили согласно общепринятым методикам в 4-кратной повторности с рендомизированным размещением делянок. Общая площадь делянки составила 28,7 м², учетной делянки – 25 м². Сорта картофеля: ранние – Пушкинец, Антонина, Бородинский розовый, Любава, Удача; среднеранние – Памяти Рогачева, Адретта, Лизетта, Лина, Невский, Романо, Сантэ, Сарма, Свитанок киевский; среднеспелые – Накра, Лазарь, Луговской, Рустэ. Посадку картофеля осуществляли в конце первой декады мая. Учет урожая определяли по методике НИИ картофельного хозяйства [14], качественные показатели клубней определяли в ГСАС «Хакасская» [15]. Математическую обработку данных в полевых опытах проводили по Б.А. Доспехову [16] с ис-

пользованием пакета прикладных статистических программ FieldExpert [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Территориальная площадь Республики Хакасия составляет 61,6 тыс. км². Большая часть территории, относящейся к зоне активного земледелия, находится в левобережной части Минусинской котловины.

Климат республики является резко континентальным с малоснежной зимой, особенно в степной части региона. Весна прохладная, продолжительная по времени и с выпадением небольшого количества осадков. Летний период очень жаркий и сухой. Осенние месяцы в большинстве вегетационных периодов с малым количеством осадков и непродолжительными периодами с высокими положительными температурами.

На рис. 1 и 2 представлены показатели метеорологических данных территории Республики Хакасия с пяти основных метеорологических точек, расположенных в различных районах и имеющих зональные привязки (см. рис. 1 и 2).

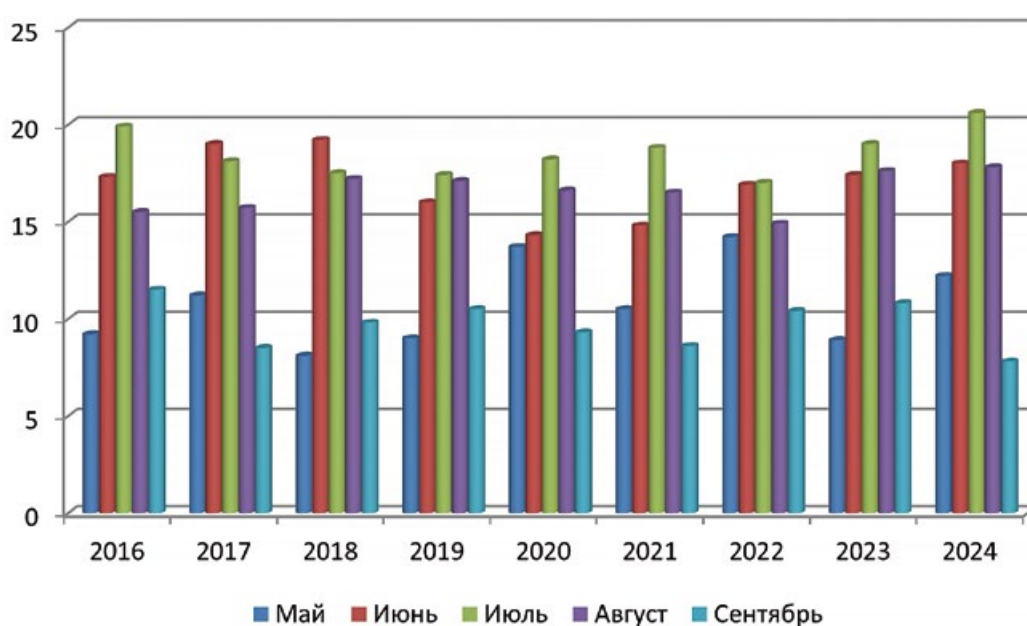


Рис. 1. Средние показатели температуры Республики Хакасия по всем наблюдательным пунктам, °C
Average temperature readings in the Republic of Khakassia at all observation points, °C

Согласно показателям учитываемых данных по всем метеорологическим участкам и пунктам республики среднее температурное значение мая составило 10,8 °C. Наименьшие значения приходились на 2018 и 2023 гг. и составляли 8,1 и 8,9 °C, а наибольшие показатели значений отме-

чались в 2022 и 2020 гг. и составили 14,2 и 13,7 °C соответственно. При этом коэффициент вариации находился на уровне 20,5 %, что указывает на высокие показатели изменчивости. Температурные значения июня, в отличие от предыдущего месяца, имели более стабильные значения, так как коэф-

фициент вариации составил 9,6 %, притом что среднее значение показателя составило 17,0 °С.

Среднемесячная температура июля за представленный период находилась на уровне 18,5 °С. Максимальное значение среднемесячной температуры фиксировалось в 2024 г. и составило 20,6 °С при среднем значении 18,5 °С и изменчивости показателя в 0,9 °С. Согласно многолетним данным последний месяц лета является самым стабильным по показателю среднемесячной температуры (16,5 °С), при коэффициенте вариации 6,02 %. Среднемесячное значение показателя температуры первого месяца осени составляет 9,7 °С. Коэффициент вариации изменчивости

параметров температуры за изучаемый период имеет средние значения и составляет 12,7 %.

Количество осадков за вегетационный период является одним из базовых показателей получения сельскохозяйственной продукции, особенно в степной зоне республики, где количество осадков является лимитирующим фактором по большинству сельскохозяйственных культур в регионе (см. рис. 2). Первый месяц вегетационного периода характеризовался средним значением с 2016 г. в 47,2 мм. Наивысшие показатели фиксировались в 2018 г. – 87,6 мм, а наименьшие в 2022 г. – 14,7 мм. Коэффициент вариации количества осадков за май составил 43,2 % при изменчивости в 14,4 мм.

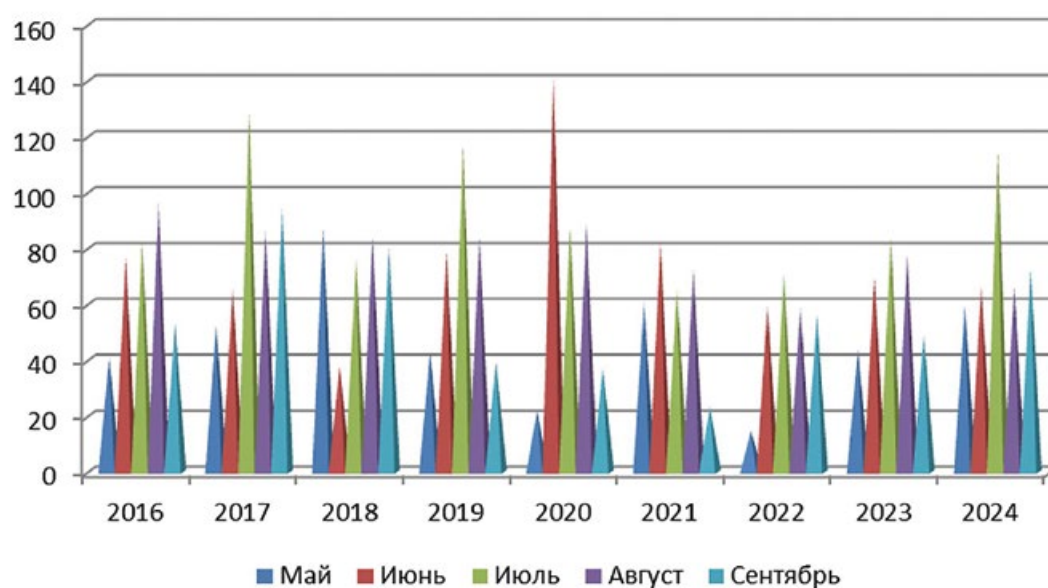


Рис. 2. Средние показатели количества осадков в Республике Хакасия по всем наблюдательным пунктам, мм
Average precipitation in the Republic of Khakassia at all observation points, mm

В первый месяц лета отмечается повышение количества осадков на 28,2 мм при наибольшем значении в 2020 г. 141,3 мм и наименьшем в 2018 г. – 37,7 мм ($V\% = 37,2\%$). В середине вегетационного периода (июль) также происходит увеличение количества осадков на 16,6 мм. Самым влажным годом за изучаемый период был 2017 г. – 128,8 мм, а самым засушливым – 2021 г., когда за месяц выпало 65,1 мм. Коэффициент вариации составил 23,3 %, при изменчивости показателя $\pm 15,1$ мм. В августе фиксируется снижение количества выпадаемых осадков на 12,6 мм со средним коэффициентом вариации 14,8 %. Сентябрьские осадки чаще всего мешают полноценной и оперативной уборке сельскохозяйственных культур.

Уникальность природных условий региона определила формирование различных типов почв. Наиболее распространенными для использования в сельском хозяйстве, согласно структуре почвенного покрова Хакасии, являются черноземы обыкновенные, на долю которых приходится 12,1 % (79,6 % от пахотных земель). Доля темно-каштановых и каштановых почв составляет 4,4 % (13,6 % от пахотных земель), черноземов южных – 4,2 %, аллювиальных – 3,7 %, черноземов выщелоченных и серых лесных по 1,9 и 1,3 % соответственно.

Согласно официальным отчетам к категории земель сельскохозяйственного назначения относится площадь 1870,7 тыс. га, что составляет 30,4 % земельного фонда республики. На сельскохозяйственные угодья приходится 1658,5 тыс. га,

это 88,6 % от всех земель сельскохозяйственного назначения. Большая часть территории находится под пастбищами – 825,1 тыс. га (44,1 %) и пашней – 647,9 тыс. га (34,7 %). Представляют интерес залежные земли, площадь которых составляет около 39,7 тыс. га, и земли, находящиеся под лесными насаждениями (18,6 тыс. га). Это косвенно указывает на определенное количество лесозащитных насаждений, которые положительно сказываются на снегозадержании, снижении эрозионных процессов и, как следствие, повышении продуктивности сельскохозяйственных культур.

Для почвенного покрова республики, как и других регионов страны, характерна неоднородность, обусловленная особенностями геоморфологических элементов рельефа. Республика Хакасия включает восемь административно-территориальных районов. Самая большая площадь обследуемых сельскохозяйственных угодий находится на территории Богградского района – 133 765,8 га, что составляет 24,1 % от площади всех районов. От

10 до 16,7 % обследуемой сельскохозяйственной площади приходится на Орджоникидзевский, Алтайский, Бейский и Усть-Абаканский районы, а к районам с обследуемой площадью угодий 4,2–9,6 % относятся Таштыпский, Аскизский и Ширинский.

Административные районы могут включать подтаежную, лесостепную и степную зоны, но чаще всего они представлены в комплексе по две-три зоны, что указывает на значительную разнородность показателей по содержанию основных элементов питания и гумусированности почвы (табл. 1). Согласно отчетным данным хакасского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «РосАгрохимслужба», 36,8 % пашни всей республики относятся к слабо- и малогумусным (до 4 % гумуса), около 39,6 % составляют почвы, которые определяются как среднегумусные (4–6 % гумуса), и только 23,6 % почв относятся к категории высокогумусных и тучных земель (более 6 % гумуса).

Таблица 1

Показатели плодородия сельскохозяйственных угодий Хакасии
Fertility indicators of agricultural lands in Khakassia

Район республики	Площадь, га	Средневзвешенный показатель			
		Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	pH
Алтайский	65 054,7	3,8	10,3	253,0	7,00
Аскизский	46 484,4	4,1	13,5	383,7	7,97
Бейский	84 576,0	4,0	13,6	251,5	7,40
Богградский	133 765,8	6,0	9,7	329,7	7,70
Орджоникидзевский	56 030,4	5,3	21,2	348,5	7,69
Таштыпский	23 237,2	7,9	85,5	127,6	6,20
Усть-Абаканский	92 736,3	4,1	15,7	417,5	7,90
Ширинский	53 558,6	5,4	17,9	412,9	7,50

Средневзвешенное содержание гумуса в почвах различных районов Республики Хакасия составляет от 3,8 до 7,9 %. Наиболее бедные почвы по содержанию органического вещества находятся в Алтайском районе, что указывает на высокую долю земель, находящихся в сухостепной подзоне. Несколько лучшая ситуация в Бейском, Усть-Абаканском и Аскизском районах, где средневзвешенное содержание гумуса в почвах составляет от 4 до 4,1 %, а это нижняя граница показателя плодородия почвы. В Орджоникидзевском, Ширинском и Богградском районах площадь земель, находящихся в лесостепной зоне, увеличивается, и поэтому почвы по средневзвешенному содержанию гумуса можно относить к

среднегумусным. Только один административный район республики – Таштыпский – по показателю процентного содержания гумуса можно отнести к высокогумусным, однако на данный район приходится всего 4,2 % обследуемых сельскохозяйственных угодий. Кроме того, Таштыпский район полностью состоит из лесостепной зоны и близко расположенной к нему подтаежной зоны, обладающих большим количеством осадков за год.

Показатель содержания подвижного фосфора является одним из базовых индикаторов эффективной части плодородия почв. Согласно официальным данным, 66,4 % пашни относится к группе с низким и очень низким содержанием фосфора. Наименьшее средневзвешенное ко-

личество подвижного фосфора (<10 мг/кг) содержат почвы Богградского района. Пахотные земли Алтайского, Аскизского и Бейского районов относятся к группе с низким содержанием подвижного фосфора – от 10,3 до 13,6 мг/кг. В почве пашни остальных районов содержится от 15,7 до 21,2 мг/кг подвижного фосфора по методу Мачигина и 85,5 мг/кг по методу Чирикова (лаборатория использует методику только для почв Таштыпского района), что указывает на среднее содержание макроэлемента.

Согласно агрохимическим отчетам обследования пахотных почв Хакасии по определению содержания обменного калия, в сравнении с предыдущими показателями ситуация более положительная. Низкое и очень низкое содержание обменного калия определялось на 17,1 % пашни, у 27,4 % почв среднее содержание элемента, в остальных случаях повышенное и более. Средневзвешенное содержание обменного калия, относящееся к средней группе обеспеченности, определено в двух районах республики – Алтайском и Бейском, по 253 и 251,5 мг/кг почвы соот-

ветственно. В Богградском, Орджоникидзевском и Аскизском районах содержание обменного калия определялось на уровне 329,7–383,7 мг/кг почвы. В остальных районах республики величина обеспеченности подвижным элементом относилась к V группе – высокая.

Средневзвешенный показатель кислотности почв по районам республики показывает, что только в условиях Таштыпского района формировались почвы, близкие к нейтральной среде ($pH = 6,2$). В почвах Алтайского, Бейского и Ширинского района по степени кислотности преобладают нейтральные почвы. В остальных четырех районах преобладают слабощелочные почвы, доля которых составляет 324,7 тыс. га от площади пашни республики.

Для наглядного представления реализации потенциала плодородия почв региона рассмотрим анализ структуры посевных площадей, который представлен на основе анализа основных статистических показателей по Республике Хакасия (рис. 3).



Рис. 3. Посевные площади сельскохозяйственных культур Республики Хакасия, %
Cultivated areas of agricultural crops in the Republic of Khakassia, %

Около 56 % всех засеваемых площадей занято кормовыми культурами, большая часть которых представлена многолетними травами (укосная площадь посева прошлых лет и беспокровные посевы текущего года). Пятая часть данной площади занята однолетними травами, 2,8 тыс. га засеяно кукурузой на зеленую массу. На зерновые и зернобобовые культуры приходится 37,4 %, что составляет 100,6 тыс. га. На 54,8 тыс. га посеяна яровая пшеница, 29,4 тыс. га занято овсом, на 8 тыс. га пашни республики произрастает гречиха.

На полях региона фиксируются основные технические культуры, такие как рапс яровой (7,1 тыс. га), соя и подсолнечник, на которые приходится 9,7 тыс. га площади посевов. Картофель и овощебахчевые культуры в структуре посевных площадей занимают около 3 %, что составляет 6,3 тыс. га. Сложные природно-климатические условия региона диктуют хозяйствам такую немаловажную составляющую структуры севооборотов, как чистые пары, на которые приходится в регионе 31 тыс. га.

Для получения стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур приемлемого качества необходимо создание оптимальных усло-

вий для роста и развития культур, в частности, обеспечение биогенными элементами растений (табл. 2).

Таблица 2

Внесение минеральных и органических удобрений по Республике Хакасия
Application of mineral and organic fertilizers in the Republic of Khakassia

Период	Удобренная площадь		Минеральные удобрения, т д.в.					Органические удобрения		Площадь пашни, тыс. га
	тыс. га	кг/га	Всего	N	P	K	кг/га пашни	тыс. т	т/га пашни	
1966–1970	98,0	32,0	3201,8	2177,4	914,0	110,4	4,4	799,8	1,1	732,0
1971–1975	226,0	45,2	8190,0	4606,6	2482,2	1101,2	11,2	1085,8	1,5	732,0
1976–1980	226,8	67,8	15429,8	7700,2	5778,6	1951,0	21,1	1025,4	1,4	732,0
1981–1985	335,4	64,2	21555,6	11246,6	7777,6	2531,4	29,5	1254,2	1,7	732,0
1986–1990	717,4	43,4	31460,4	15354,4	12914,0	3192,0	43,6	1760,4	2,4	722,4
1991–1995	313,2	41,2	13472,8	6182,0	5892,6	1398,2	19,9	759,4	1,1	649,4
1996–2000	63,8	41,8	2540,4	1643,2	861,8	35,4	4,2	87,2	0,3	598,4
2001–2005	23,3	39,7	905,4	478,8	351,5	75,1	1,8	6,7	0,0	482,2
2006–2010	40,1	38,3	1533,3	808,5	490,0	234,8	3,1	70,9	0,3	516,6
2011–2015	67,5	40,6	2805,3	2024,3	406,9	374,2	8,0	91,8	0,3	495,1
2016–2020	51,3	35	1785,8	1158,6	382,5	244,7	7,5	31,0	0,1	559,2
2021–2022	61,0	50,6	3103,3	2153,9	498,8	450,5	5,6	63,3	0,1	559,6

Анализ применения органических и минеральных удобрений в Республике Хакасия позволяет сделать вывод о соблюдении одного из фундаментальных законов земледелия: закона возврата питательных веществ на пашни региона. Если в позднесоветский период минеральные удобрения использовались на площади до 717,4 тыс. га при не высокой, но все же ощутимой норме в 43,4 кг д.в. на гектар, то в последние десятилетия площадь удобряемых участков снизилась до 23,3 тыс. га с минимальными нормами в 35 кг д.в. на 1 га. В последние годы наблюдается тенденция к увеличению удобряемых площадей на 15–20 %, а повышение нормы вносимых удобрений до 50,6 кг д.в. на 1 га.

Как и повсеместно, самый большой дефицит в питательных веществах на пашне республики ощущается в азоте. В последние годы наблюдается увеличение его количества до 2153,9 т д.в. Фосфора и калия используется значительно меньше, так как и обеспеченность сельскохозяйственных угодий Хакасии по фосфору значительно лучше,

чем по азоту, а по калию практически отсутствует дефицит. Величина нормы используемых удобрений на всю территорию пашни составляла до 1,8 кг д.в. на 1 га в начале двухтысячных годов. Максимальный показатель нормы вносимых удобрений наблюдался в начале 2010-х и составлял 8 кг д.в. на 1 га пашни. В последние годы величина внесения минеральных удобрений на 1 га пашни составила 5,6 кг в действующем веществе.

Использование органических удобрений позволяет не только повысить продуктивность сельскохозяйственных культур, но и увеличить содержания гумуса, усилить микробиологические процессы почвы, снизить плотность почвы. Однако их производство до позднесоветского периода, когда наблюдался пик поголовья сельскохозяйственных животных, доходило до 1760,4 тыс. т, что составило 2,4 т на гектар пашни. В последующее время происходит резкое снижение их количества до 6,7 тыс. т в начале двухтысячных. Первая половина 2010-х характеризовалась максимумом в 91,8 тыс. т, притом что в последние

годы данный показатель находился на уровне 63,3 тыс. т. Перерасчет количества на площадь пашни составил 0,1–0,3 т на 1 га, что является относительно не существенным.

Согласно основным методикам расчета действительно возможную урожайность определяем, используя данные продуктивной влаги перед посадкой, количество осадков в период вегетации, коэффициент водопотребления и сумму частей в соотношении основной и побочной продукции. По различным районам республики от сухостепной подзоны до подтаежной зоны расчетная урожайность картофеля колеблется от 14 до 35 т с гектара клубней, что указывает на особую актуальность выбора зоны и хозяйства для выращивания картофеля в богарных условиях. За счет полива можно значительно повысить урожайность культуры, которая уже будет зависеть от обеспечения посадок элементами питания.

Расчеты урожайности по коэффициенту использования физиологически активной солнечной радиации показывают, что потенциальная урожайность клубней картофеля составляет 27–49 т с гектара, что указывает на потенциально высокую продуктивность культуры. Лимитирующими факторами для возделывания культуры в регионе остается влагообеспеченность – в основном для степной и части лесостепной зоны – и обеспечение культуры необходимыми элементами питания под планируемую урожайность.

Наличие таких теоретических и практических условий для возделывания клубнеплодов составляет так называемый агропотенциал региона, при котором можно сопоставить параметры и эффективность получения картофеля на предприятиях и крестьянских (фермерских) хозяйствах Республики Хакасия по данным отчетов Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Хакасия (табл. 3).

Таблица 3

Возделывание картофеля на предприятиях и крестьянских (фермерских) хозяйствах Республики Хакасия
Potato cultivation in enterprises and peasant (farm) households of the Republic of Khakassia

Год	Посевная площадь, га	Уборочная площадь, га	Валовой сбор, т	Урожайность, т/га
2016	1063,6	1016,1	6743,9	6,64
2017	609,6	569,6	4760,9	8,36
2018	533,1	533,1	6230	11,69
2019	517,7	517,7	6045,65	11,68
2020	434,1	426,1	4183,7	9,82
2021	304,0	304,0	3527,8	11,60
2022	375,2	375,2	3582,2	9,55
2023	366,0	366,0	4686,0	12,80
2024	283,2	283,2	3206,8	11,32

Показатель величины посевных (посадочных) площадей за последние годы значительно сократился с 1063,6 га в 2016 г. до 283,2 га в 2024 г., а это практически в четыре раза. При этом валовый сбор сократился только в два раза – с 6743,9 т до 3206,8 т. В некоторые сложные по метеорологическим условиям годы фиксируется оставление урожая в зимний период, что существенно сокращает валовый сбор клубней и в целом урожайность культуры.

Величина урожайности остается одной из определяющих эффективность агротехнологии в определенных почвенно-климатических ус-

ловиях и определенном энерготехнологическом обеспечении процесса. В 2016 г. наблюдается минимальная урожайность клубней картофеля в регионе – 6,64 т/га, а максимальная урожайность в 2023 г. составила 12,8 т/га. Множественные факторы роста и развития растений картофеля можно смоделировать как для территорий, на которых производят возделывание с помощью орошения, так и на богарных участках. Расчет показателей зависимости урожайности картофеля от количества осадков за вегетационный период за счет программы FieldExpert v1.3 представлен в табл. 4.

Таблица 4

Уравнения регрессии зависимости показателя урожайности картофеля от количества осадков
в Республике Хакасия
Regression equations for the dependence of potato yield on precipitation in the Republic of Khakassia

Территории, используемые для возделывания картофеля	Уравнения регрессии	Коэф. корреляции
Участки под орошением	$Y = 6,493 + 0,016 * X$	0,43
Богарные участки	$Y = 9,307 + 0,007 * X$	0,81

Статистический расчет параметров зависимости показал, что участки, используемые для возделывания картофеля, находящиеся под орошением, имеют среднюю положительную величину зависимости урожайности от количества атмосферных осадков в вегетационный период, в богарных условиях зависимость уже сильная положительная. Благодаря полученным уравнениям регрессии можно прогнозировать уровень урожайности клубней картофеля при различных величинах атмосферных осадков на территории Республики Хакасии.

С начала двухтысячных годов на кафедре агротехнологий и ветеринарной медицины занимаются созданием адаптивных технологий возделывания картофеля в условиях Республики Хакасии и юга Красноярского края. Опыты с сортоизучением картофеля проводят как на опытном поле Хакасского государственного университета

им. Н.Ф. Катанова, так и в хозяйствах разных форм собственности, находящихся в различных почвенно-климатических зонах региона.

Основной целью проведения сортоизучений является создание базы сортов для определенной почвенно-климатической зоны и интенсивности технологий в хозяйстве. Сравнительная характеристика сортов по различным группам спелости показывает, что средняя урожайность по группе ранних сортов – 25,3 т/га – является наибольшей. Выявлены сорта в группе, показывающие высокую общую урожайность по 27,4 т/га и 28,8 т/га, это Бородинский розовый и Любава. В среднеранней группе и среднеспелой группе по средней урожайности показатели практически одинаковые: по 24,3 и 24,6 т/га. Однако в среднеранней группе выявлены сорта с максимальной урожайностью (29,2 и 30,9 т/га), к которым относятся сорта Лина и Сарма.

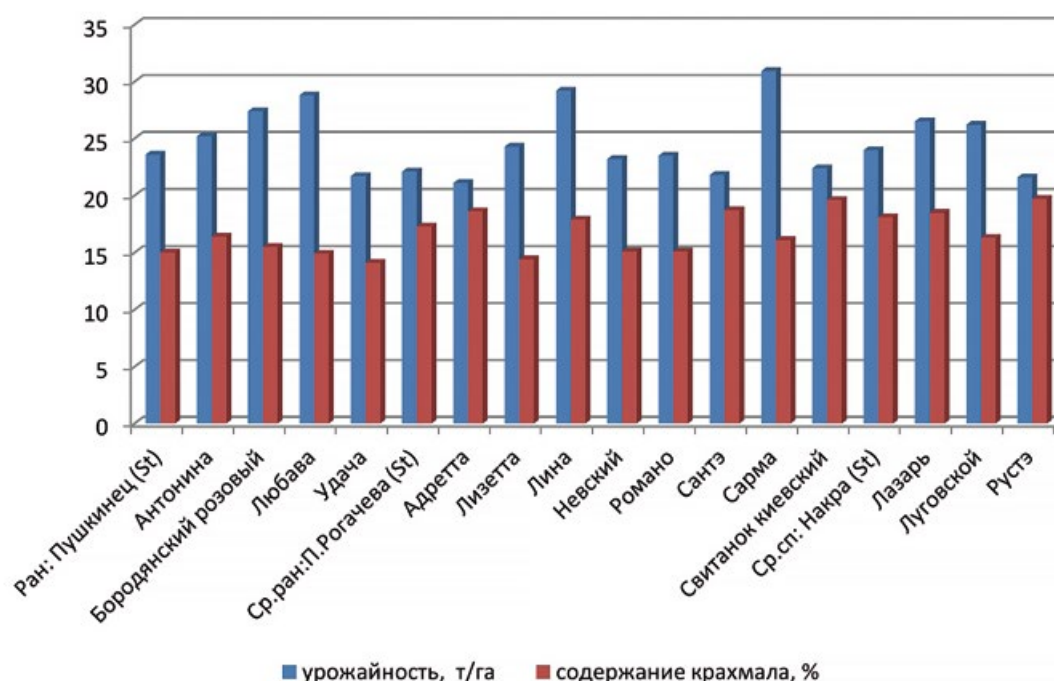


Рис. 4. Урожайность и качество картофеля в опытах кафедры агротехнологий и ветеринарной медицины ХГУ им. Н.Ф. Катанова в условиях юга Средней Сибири

Potato yield and quality in experiments conducted by the Department of Agricultural Technology and Veterinary Medicine of Kharkiv State University named after N.F. Katanov in the conditions of the south of Central Siberia

Показатель количества крахмала в клубнях картофеля остается одним из наиболее важных для оценки качества урожая (рис. 4).

Наибольшее количество крахмала накапливали клубни среднеспелых сортов – 18,2 % в среднем по группе, при наивысшем показателе сорта Рустэ – 19,7 %. Для группы среднеранних

сортов среднее содержание крахмала в клубнях составило 17,0 %, а для ранних – 15,2 %.

Результаты дисперсионного анализа показали, что вклад фактора генотип (сорт) составил 53,8 %, влияние погодных условий в период вегетации – 36,2 %, взаимодействие факторов «генотип (сорт)» и «год» составило 10 % (рис. 5).

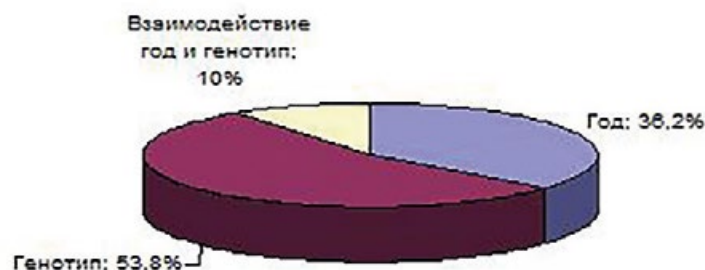


Рис. 5. Доля влияния изучаемых факторов на урожайность различных сортов картофеля
The share of influence of the studied factors on the yield of different potato varieties

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравнивая результаты производственных данных с научными, можно отметить огромный потенциал роста отрасли картофелеводства в Республике Хакасия. Сравнивая урожайность картофеля, полученного на кафедре, с уборочной площадью в республике, можно отметить, что повышение валовых сборов доходит с 2768,7 до 5544,1 т, а это увеличение от 186,3 до 272,9 %. Основные направления решения задач картофелеводства можно определить следующим образом. В первую очередь это использование высокоурожайных перспективных сортов высоких репродукций, подходящих для региона. Во вторую – обеспеченность основными элементами питания, как макроэлементами, так и микроэлементами согласно программируемой урожайности на основании результатов агрохимического обследования почв хозяйства. И в-третьих – соблюдение сроков и агротехнических требований технологии возделывания культуры. Соблюдая вышеперечисленные требования возможно повышение урожайности в 2–3 раза в зависимости от почвенно-климатической зоны республики.

ВЫВОДЫ

1. Территория Республики Хакасия относится к зоне рискованного земледелия и обладает сложными климатическими условиями, лимитирую-

щим фактором степной зоны является влагообеспеченность, а подтаежной – сумма эффективных температур.

2. Почвы республики в среднем имеют невысокие показатели плодородия. Около трети сельскохозяйственных угодий республики относятся к слабо- и малогумусным (36,8 %), две трети пашни (66,4 %) относятся к группам с низким и очень низким содержанием подвижного фосфора. Только по показателю обменного калия 17,1 % пашни имеет низкое и очень низкое содержание, на остальных площадях величина данного показателя значительно выше.

3. В последние годы отмечается значительное уменьшение (в четыре раза) посадочных площадей под картофелем и, соответственно, уменьшение валовых сборов клубней в республике с 6743,9 т до 3206,8 т в 2024 г., при урожайности, изменяющейся с 6,64 до 12,8 т/га ($V\% = 18,9\%$). Приведенные данные характерны для коллективных и крестьянских (фермерских), а не для личных подсобных хозяйств.

4. Согласно данным сортоизучения наиболее урожайные: в группе ранних – Бородинский розовый (27,4 т/га) и Любава (28,8 т/га); в группе среднеранних – Лина (29,2 т/га) и Сарма (30,9 т/га); в группе среднеспелых – Лазарь (26,5 т/га) и Луговской (26,2 т/га). По данным дисперсионного анализа вклад фактора сорт составил 53,8 %,

а метеорологических условий вегетационного периода – 36,2 %.

5. Использование перспективных сортов высоких репродукций, соблюдение агротехнологии при выращивании картофеля, обеспечение

растений биогенными элементами питания под заданный урожай позволит повысить урожайность клубней картофеля в 2–3 раза коллективными и крестьянскими (фермерскими) хозяйствами Республики Хакасия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Картофель в России* / под ред. А.В. Коршунова. – М., 2003. – 968 с.
2. *Галеев Р.Р.* Особенности производства картофеля в Западной Сибири. – Новосибирск, 2017. – 116 с.
3. *Газданова И.О., Гериева Ф.Т., Моргоев Т.А.* Урожайность отечественных сортов картофеля в условиях предгорной зоны Северного Кавказа // *Вестник КрасГАУ*. – 2023. – № 6 (195). – С. 33–40. – DOI: 10.36718/1819-4036-2023-6-33-40.
4. *Особенности сравнительной оценки сортов картофеля мирового генофонда в лесостепи Новосибирского Приобья* / Р.Р. Галеев, П.Н. Потапов, А.И. Мурзин [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2025. – № 1 (74). – С. 21–29. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-74-1-21-29.
5. *Пасько О.А.* Зависимость урожайности картофеля от погодных условий // *Вестник КрасГАУ*. – 2022. – № 1 (178). – С. 56–61. – DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-56-61.
6. *Чураков А.А., Попова Н.М., Халипский А.Н.* Перспективные гибриды картофеля в Сибири // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2024. – Т. 54, № 4. – С. 13–20. – DOI: 10.26898/0370-8799-2024-4-2.
7. *Чагин В.В.* Адаптивные технологии возделывания картофеля в условиях юга Средней Сибири. – Абакан, 2022. – 160 с.
8. *Особенности использования элементов технологии ускоренного семеноводства оздоровленного картофеля в лесостепи Приобья* / А.И. Мурзин, Р.Р. Галеев, П.Н. Потапов [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2024. – № 2 (71). – С. 132–138. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-132-138.
9. *Эффективность применения препарата Тропиканка 1 на картофеле в лесостепи Приобья* / Р.Р. Галеев, К.В. Жучаев, О.Н. Сороколетов [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2023. – № 4 (69). – С. 14–23. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-69-4-14-23.
10. *Доклад о состоянии и использовании земель в Республике Хакасия в 2024 году* Управления Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Республике Хакасия. – Абакан, 2025. – 49 с.
11. *Отчеты по реперным участкам Республики Хакасия, ФГБУ ГСАС «Хакасская» за 2007–2024 гг.*
12. *Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2023 году»* / Департамент по охране окружающей среды министерства природных ресурсов и экологии Республики Хакасия. – Абакан, 2024. – 187 с.
13. *Отчет министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Хакасия в 2023 году*. – Абакан, 2024. – 80 с.
14. *Методика исследований по культуре картофеля*. – М.: НИИКХ, 1967. – 264 с.
15. *Ермаков А.И.* Методика биохимических исследований. – М.: Колос, 1979. – 268 с.
16. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. заведений по агроном. спец. – М.: Агропромиздат, 1985. – 365 с.
17. *Акимов О.И., Акимов Д.Н.* Использование статистических методов обработки опытных данных при выполнении студенческих научных работ // *Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова*. – 2016. – № 18. – С. 76–78.

REFERENCES

1. *Kartofel' v Rossii* (Potatoes in Russia), pod red. A.V. Korshunova, Moscow, 2003, 968 p.
2. *Galeev R.R. Osobennosti proizvodstva kartofelya v Zapadnoi Sibiri* (Features of potato production in Western Siberia), Novosibirsk, 2017, 116 p.
3. *Gazdanova I.O., Gerieva F.T., Morgoev T.A., Vestnik KrasGAU*, 2023, No. 6 (195), pp. 33–40. (In Russ.)
4. *Galeev R.R., Potapov P.N., Murzin A.I., Potapov N.A., Potapova S.S., Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2025, No. 1 (74), pp. 21–29. (In Russ.)
5. *Pas'ko O.A., Vestnik KrasGAU*, 2022, No. 1 (178), pp. 56–61. (In Russ.)
6. *Churakov A.A., Popova N.M., Khalipskii A.N., Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2024, T. 54, No. 4, pp. 13–20. (In Russ.)
7. *Chagin V.V., Adaptivnye tekhnologii vozdelevaniya kartofelya v usloviyakh yuga Srednei Sibiri* (Adaptive technologies of potato cultivation in the conditions of the south of Central Siberia), Abakan, 2022, 160 p.

8. Murzin A.I., Galeev R.R., Potapov P.N., Potapov N.A., Potapova S.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2024, No. 2 (71), pp. 132–138. (In Russ.)
9. Galeev R.R., Zhuchayev K.V., Sorokoletov O.N., Petrov A.F., Novikov E.V., Miroshnikov P.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 4 (69), pp. 14–23. (In Russ.)
10. *Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Respublike Khakasiya v 2024 godu Upravleniya Federal'noi sluzhby gosudarstvennoi registratsii, kadastra i kartografii po Respublike Khakasiya* (Report on the status and use of land in the Republic of Khakassia in 2024 of the Office of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography for the Republic of Khakassia), Abakan, 2025, 49 p. (In Russ.)
11. *Otchety po repnym uchastkam Respubliki Khakasiya, FGBU GSAS «Khakasskaya» za 2007–2024 gg.* (Reports on reference sites of the Republic of Khakassia, Federal State Budgetary Institution GSAS “Khakassia” for 2007–2024.) (In Russ.)
12. *Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii okruzhayushchei sredy Respubliki Khakasiya v 2023 godu» / Departament po okhrane okruzhayushchei sredy Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Respubliki Khakasiya* (State report “On the state of the environment of the Republic of Khakassia in 2023” / Department of Environmental Protection of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Republic of Khakassia), Abakan, 2024, 187 p. (In Russ.)
13. *Otchet Ministerstva sel'skogo khozyaistva i prodovol'stviya Respubliki Khakasiya v 2023 godu* (Report of the Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Khakassia in 2023), Abakan, 2024, 80 p. (In Russ.)
14. *Metodika issledovaniy po kul'ture kartofelya* (Esearch methods on potato crops), Moscow: NIKKh, 1967, 264 p. (In Russ.)
15. Ermakov A.I., *Metodika biokhimicheskikh issledovaniy* (Methodology of biochemical research), Moscow: Kolos, 1979, 268 p.
16. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Field experiment methodology), Moscow: Agropromizdat, 1985, 365 p.
17. Akimova O.I., Akimov D.N., *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova*, 2016, No. 18, pp. 76–78. (In Russ.)

Информация об авторах:

В.В. Чагин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Е.Ю. Жукова, кандидат биологических наук, доцент

А.И. Касаргин, директор филиала

Н.В. Гаврилец, начальник информационно-аналитического и патентного отдела

В.С. Иванов, студент

Contribution of the authors:

V.V. Chagin, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

E.Y. Zhukova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

A.I. Kapsargin, Branch Director

N.V. Gavrillets, Head of the Information, Analytical and Patent Department

V.S. Ivanov, Student

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЕТЕРИНАРИЯ, ЗООТЕХНИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-150-160

УДК 636.2.034

РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА БЫКОВ ЗАРУБЕЖНОЙ СЕЛЕКЦИИ В ПЛЕМЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

¹Т.А. Жигулин, ¹Е.В. Камалдинов, ²П.Н. Пальчиков

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²АО «Новосибирскагроплем», Новосибирская область, Россия

E-mail: timzhig@ya.ru

Для цитирования: Жигулин Т.А., Камалдинов Е.В., Пальчиков П.Н. Реализация генетического потенциала быков зарубежной селекции в племенных предприятиях Западной Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 150–160. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-150-160.

Ключевые слова: молочная продуктивность, селекционный дифференциал, крупный рогатый скот, голштинская порода, удой.

Реферат. Масштабное использование племенного материала зарубежной селекции в молочном скотоводстве России создает биологическую неопределенность из-за выраженного эффекта взаимодействия «генотип–среда». Целью исследования являлась оценка реализации генетического потенциала быков-производителей зарубежной селекции в условиях племенных хозяйств Западной Сибири. На основе данных о продуктивности 28 065 первотелок была проведена оценка 21 быка голштинской породы. Исходные данные были скорректированы на влияние факторов года и сезона, а хозяйства стратифицированы на две категории по уровню продуктивности. Локальная оценка племенной ценности рассчитывалась как средняя между удоєм дочерей и взвешенной средней продуктивностью их сверстниц. Для оценки сопоставимости с зарубежным индексом племенной ценности был применен метод категориальной классификации по знаку и проведен корреляционный анализ. Установлено наличие сильного взаимодействия «генотип–среда», проявляющегося в различиях племенной ценности у одних и тех же быков различных групп. Сопоставление оценок показало, что доля совпадений между рассчитанной племенной ценностью и прогнозом зарубежного каталога составляет не более 50 %, что эквивалентно случайному событию. Полное совпадение знаков по всем трем оценкам, включая обе локальные категории и зарубежный индекс, зафиксировано лишь для 25 % быков. Выводы были подтверждены корреляционным анализом, который выявил статистически незначимую связь между локальной оценкой племенной ценности и данными из иностранного каталога. Определено, что использование данных из зарубежных каталогов для принятия селекционных решений является ненадежным. Локальная оценка племенной ценности, учитывающая конкретные производственные условия, является незаменимым инструментом для объективного выбора производителей и повышения эффективности селекционно-племенной работы.

IMPLEMENTATION OF THE GENETIC POTENTIAL OF FOREIGN-BRED BULLS IN BREEDING FARMS OF WESTERN SIBERIA

¹T.A. Zhigulin, ¹E.V. Kamaldinov, ²P.N. Palchikov

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Novosibirskagroplem, Novosibirsk, Russia

E-mail: timzhig@ya.ru

Keywords: milk productivity, cattle, Holstein breed, milk yield, genotype-environment interaction, breeding value, sire evaluation, Western Siberia, foreign breeding.

Abstract. The large-scale use of breeding material from foreign selection in Russian dairy farming creates biological uncertainty due to the pronounced “genotype-environment” interaction effect. The study aimed to

assess the realization of the genetic potential of foreign-bred sires under the conditions of breeding farms in Western Siberia. Based on productivity data from 28,065 first-calf heifers, 21 Holstein bulls were evaluated. The initial data were adjusted for the influence of year and season factors, and the farms were stratified into two categories based on productivity levels. The local breeding value was calculated as the mean of paired differences between the milk yield of daughters and the weighted average milk yield of their herdmates, with outliers iteratively removed. To assess the comparability with the foreign breeding value index, a categorical classification method by sign and a correlation analysis were applied. A strong "genotype-environment" interaction was established, manifesting in the re-ranking of sires across different farm categories. The analysis of sign concordance showed that the agreement between the local estimate and the foreign catalog's forecast was no more than 50 %, which is equivalent to a random event. A complete sign match across all three estimates, including both local categories and the foreign index, was recorded for only 25 % of the sires. These findings were confirmed by a correlation analysis, which revealed a statistically insignificant relationship between the local breeding value estimate and data from the foreign catalog. The study concludes that the direct use of data from foreign catalogs for making selection decisions is unreliable. A local assessment of breeding value that considers specific production conditions is an indispensable tool for the objective selection of sires and for improving the efficiency of breeding programs.

Обеспечение устойчивого роста молочной отрасли является одной из приоритетных задач агропромышленного комплекса России, решение которой зависит от эффективности селекционно-племенной работы [1]. К сожалению, основным инструментом ускорения генетического прогресса в молочном скотоводстве в настоящее время является масштабное использование семени быков-производителей зарубежной селекции [2]. Зависимость от импортного генофонда формирует не только экономическую уязвимость, связанную с высокой стоимостью семени и санкционными рисками, но и создает биологическую неопределенность. Отсутствие объективной информации о том, как именно генотип проявит себя в конкретных региональных условиях, приводит к тому, что ожидаемый селекционный эффект зачастую не достигается в полной мере, вследствие чего снижается рентабельность производства и замедляются темпы генетического прогресса в масштабах страны.

Актуальной проблемой является наличие информации о генетическом потенциале тех или иных производителей, оцененных по зарубежному маточному поголовью. Это не позволяет с высокой точностью осуществлять прогноз продуктивности животных локальных субпопуляций. Такому положению способствует влияние многочисленных паратипических факторов в рамках взаимодействия «генотип–среда» [3, 4]. Ключевыми из них являются различия в кормовой базе, технологиях содержания и доения, а также климатические особенности региона, которые в совокупности формируют уникальную производственную среду. В результате племенная ценность быка, определенная в одной стране, может существенно разниться с оценкой в другой стране, что

делает прогноз продуктивности его потомства статистически ненадежным. При использовании производителей в условиях, отличных от тех, где проводилась оценка его дочерей, взаимодействие «генотип–среда» может оказывать влияние на различия между ожидаемой и фактической продуктивностью [5–7].

Оценка быков с использованием неполных родословных и зарубежных индексов может быть недостаточной для принятия решений в области селекции на локальном уровне [8]. Возникает научная и практическая необходимость в проведении оценки реализации генетического потенциала импортных быков по фактической продуктивности их дочерей непосредственно в условиях отдельно взятых хозяйств. Проведение такой локальной оценки позволяет создать объективный и практически применимый инструмент для селекционеров, который учитывает реальные условия эксплуатации животных и позволяет принимать обоснованные решения о подборе производителей для конкретных стад [9, 10]. Это, в свою очередь, является основой для разработки региональных программ селекции, направленных на максимальную реализацию генетического потенциала в различных условиях.

Цель исследования – оценка реализации генетического потенциала быков-производителей зарубежной селекции в условиях племенных хозяйств Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования служил генетический потенциал голштинского скота по признакам молочной продуктивности за 305 дней первой лактации. Исходные данные о продуктивности

животных включали в себя 28 065 записей с 2005 по 2023 г.

Для обеспечения объективности сравнения молочной продуктивности использовались поправки на сезон года и учетный год начала лактации. Расчет проводился в два этапа. Для каждого года отдельно вычислялись сезонные поправки относительно базового сезона, относящегося к октябрю–декабрю. Последующие поправки осуществлялась на 2021 г. с целью синхронизации данных, полученных из разных источников.

Построчное исключение данных производилось с учетом следующих показателей: инвентарный номер, дата рождения, кличка отца, кличка дочери, сверстницы, удой дочери, сверстницы за 305 дней первой лактации, а также дата начала и окончания лактации.

Учитывая высокую вариабельность молочной продуктивности с разным уровнем производственной культуры, была применена процедура фильтрации данных для исключения выбросов из групп сверстниц по соответствующим группам дочерей тех или иных быков-производителей. Оценку выбросов проводили с помощью метода Тьюки [11] с последующим их исключением для последующей несмещенной оценки.

Эффект среды нивелировался за счет разделения хозяйств на две категории согласно уровню продуктивности. Формирование групп осуществлялось с использованием медианных значений, где хозяйства со средним уровнем продуктивности ниже 8000 кг относились к 1-й категории, а от 8000 кг и выше – ко 2-й категории.

Межгрупповые сравнения проводились с применением парного теста Уилкоксона и *t*-критерия в зависимости от характера распределения в группах.

Для сравнения животных двух категорий по уровню молочной продуктивности сопоставляли между собой с использованием селекционных дифференциалов (разность между удоём дочерей и сверстниц). Для каждой дочери отбирали сверстниц из соответствующего сезона и года ее лактации.

Рассчитанная племенная ценность сравнивалась с Canadian Dairy Network (CDN), в которой учитывались родословная, продуктивность дочерей и их сверстниц, а также фиксированные средовые факторы на протяжении длительного

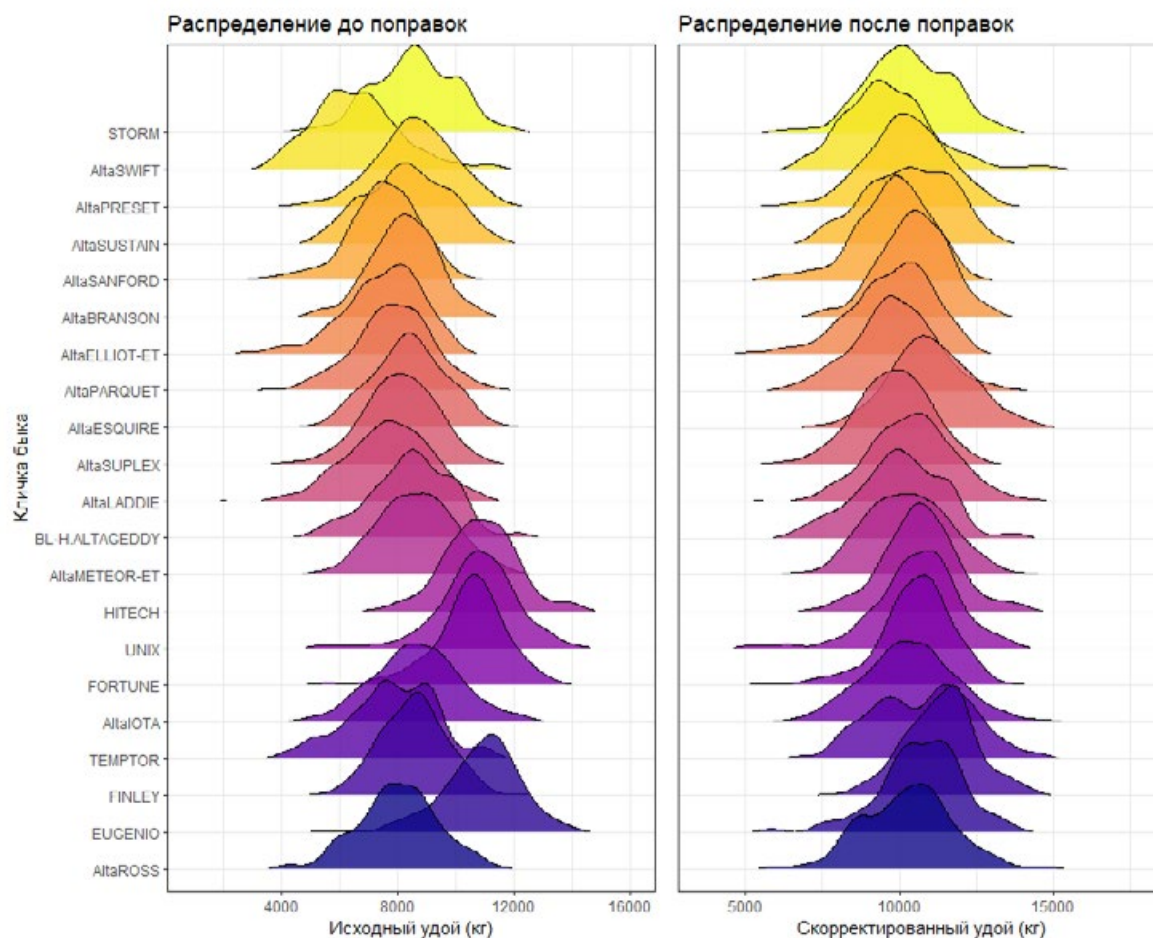
периода [12]. Для обеспечения несмещенной оценки все сравнения также проводились на момент референсного периода: декабрь 2021 г.

При сравнении групп между собой животных разделяли на улучшателей (+), ухудшателей (-) и нейтральных (0), что позволило сопоставить количество животных в этих группах и определить соответствующие отношения. С этой целью определяли разность между продуктивностью дочерей и сверстниц исследуемых быков (периоды и продолжительность лактаций сверстниц и дочерей полностью совпадали). Отнесение животных к категории нейтральных базировалось на близости уровня молочной продуктивности к нулю с допущением интервала в 5 % относительно установленных лимитов изменчивости для каждой группы. Для 1-й, 2-й категории и данных CDN порог составил ± 30 , ± 90 и ± 94 кг соответственно. Применяли критерий Уилкоксона для сравнения групп животных разных категорий между собой и с зарубежными оценками. Также для оценки взаимосвязи между селекционными дифференциалами была рассчитана ранговая корреляция Спирмена.

Статистическая обработка данных, корреляционный анализ и визуализация результатов были выполнены в среде статистического программирования R версии 4.3.2 [13]. Фильтрация, группировка и высокопроизводительные вычисления осуществлялись с помощью библиотеки «data.table», визуализация данных проводилась с применением «ggplot2», а обработка дат с использованием «lubridate» [14, 15]. Для ускорения вычислений применялся пакет для параллельных вычислений «future» [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью нивелирования влияния факторов «учетный год» и «сезон года» рассчитаны соответствующие поправки. Результатом такой работы явилось смещение медианных значений и изменение в некоторых случаях плотности распределений изучаемого селекционного признака, что показано на рисунке. Так, до поправок наблюдалась значительная вариативность и смещение пиков распределений по оси абсцисс, что подтверждает роль рассматриваемых факторов.



Распределение удоя дочерей быков до и после поправки на факторы «год–сезон»
Distribution of milk yield of bulls' daughters before and after adjustment for year-season factors

Наиболее сильные смещения по нескорректированным данным наблюдались по потомкам быков HITECH, UNIX, FORTUNE, ALTASWIFT и EUGENIO. После соответствующих корректировок распределения оказались более однородными.

Однако для объективной оценки генетического потенциала требуется более глубокий анализ, направленный на исключение данных с аномальными показателями продуктивности. Неучтенные

факторы, связанные с заболеваниями и просто возможными ошибками, могут существенно искажать данные. Выборка для оценки изучаемого признака отбора получена за счет итеративной процедуры очистки. В табл. 1 показано изменение показателей описательной статистики в зависимости от наличия выбросов, включая поправки на описанные ранее фиксированные факторы.

Таблица 1

Удой за 305 дней первой лактации западно-сибирской популяции скота
Milk yield for 305 days of the first lactation of the West Siberian cattle population

Выборка	<i>n</i>	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	<i>Me</i>	<i>Q</i> ₁	<i>Q</i> ₃	<i>IQR</i>	<i>AD.p</i> *
Без исключения выбросов	28065	8384 ± 13	8571	7035	9926	2891	< 0,005
С исключением выбросов	18083	10615 ± 11	10629	9644	11602	1958	0,009

*Примечание. Значение уровня значимости критерия Андерсона-Дарлинга

Заслуживающим внимание результатом корректировки стало снижение объема совокупности на более 35 % изменчивости без приведения к гауссовскому распределению.

Для учета влияния производственных условий, которые являются основным проявлением взаимодействия «генотип–среда», хозяйства Западной Сибири поделены на две категории, метод получения которых описан ранее (см. табл. 1). Категория хозяйства характеризуется проявлением множества средовых факторов, оказывающих

влияние на степень проявления генетического потенциала в определенных условиях среды.

Одной из особенностей представленных данных является сходство межквартильных размахов исследуемых категорий хозяйств. Несмотря на существенные отличия между уровнями продуктивности, изменчивость удоя в двух категориях была сопоставима. Отличий между средними арифметическими и медианами также не наблюдалось (табл. 2).

Таблица 2

Удой за 305 дней первой лактации коров разных категорий хозяйств
Milk yield for 305 days of the first lactation of cows of different categories of farms

Категория хозяйства	<i>n</i>	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	<i>Me</i>	Q_1	Q_3	<i>IQR</i>	<i>AD.p</i>
1	8969	10128 ± 15	10119	9192	11056	1863	0,009
2	9114	11094 ± 14	11110	10195	12000	1805	0,001

Проведена оценка племенной ценности быков относительно сверстниц на всей выборке без разделения хозяйств на категории. Данный этап

позволил выявить общие тенденции и сопоставить их с официальными данными зарубежной оценки (табл. 3).

Таблица 3

Сходимость оценок исследуемых быков по общей выборке
Convergence of estimates of the studied bulls for the total sample

№	Кличка быка	<i>n_д</i>	<i>n_{св}</i>	$\bar{x}_{\text{д}} \pm s_{\bar{x}}$	$\bar{x}_{\text{св}} \pm s_{\bar{x}}$	$\pm_{\text{д-св}}$	$\pm_{\text{д-св}}^*$	<i>MW.p</i> **
1	EUGENIO	170	2309	10681 ± 105	10490 ± 9	190	1397	0,007
2	FORTUNE	533	3294	10534 ± 53	10466 ± 5	68	867	0,001
3	HITECH	141	2094	10676 ± 102	10473 ± 9	203	1596	0,019
4	AltaSUSTAIN	116	3303	10297 ± 126	9834 ± 21	463	961	<0,001
5	FINLEY	191	1311	11342 ± 84	11276 ± 34	67	-145	0,178
6	TEMPTOR	113	2131	10759 ± 150	10760 ± 102	-2	-643	0,497
7	AltaIOTA	605	6370	10320 ± 61	9881 ± 15	439	743	<0,001
8	AltaROSS	204	4116	10285 ± 103	10163 ± 37	123	-1214	0,093
9	AltaESQUIRE	368	3958	11026 ± 69	10435 ± 30	591	149	<0,001
10	AltaMETEOR	840	6634	10275 ± 46	9873 ± 10	402	909	<0,001
11	AltaSUPLEX	1032	5110	9774 ± 38	9862 ± 7	-89	154	0,93
12	AltaGEDDY	187	5186	9984 ± 102	9917 ± 33	67	891	0,146
13	AltaELLIOT	162	1522	9766 ± 106	9935 ± 8	-169	232	0,838
14	AltaSANFORD	228	1925	9772 ± 81	9848 ± 8	-76	-331	0,568
15	AltaPRESET	408	4461	10216 ± 66	9965 ± 12	251	1199	<0,001
16	AltaBRANSON	181	1524	10482 ± 81	9971 ± 8	511	863	<0,001
17	AltaPARQUET	315	3208	9825 ± 79	9868 ± 20	-44	1238	0,522
18	UNIX	261	2400	10557 ± 86	10450 ± 8	108	679	0,014
19	AltaLADDIE	269	3107	10393 ± 84	10147 ± 39	246	-199	<0,001
20	AltaSWIFT	160	1977	9698 ± 117	9388 ± 57	310	-357	0,004
21	STORM	136	5468	10262 ± 118	9924 ± 22	339	919	0,001

Примечания: * – разность между продуктивностью дочерей и сверстниц в базе данных CDN;

** – уровень статистической значимости *p* для критерия Манна–Уитни при сравнении разностей по уровню удоя за 305 дней первой лактации дочерей и сверстниц

Анализ показывает, что большинство исследуемых быков (16 из 21) продемонстрировали положительную племенную ценность, т.е. их дочери в среднем превосходили сверстниц по удою. Однако, как показывают результаты непараметрического критерия Манна–Уитни, не все положительные значения являются статистически значимыми. Так, быки FINLEY (+67 кг), AltaROSS (+123 кг) и AltaGEDDY (+67 кг) не показали значимого превосходства над сверстницами. Это указывает на то, что наблюдаемое небольшое преимущество их дочерей могло быть обусловлено случайными факторами.

Определен ряд быков, чей генетический потенциал в условиях Западной Сибири реализуется иначе, чем это прогнозируется зарубежной системой оценки. Наглядным примером является бык AltaESQUIRE, который по результатам локальной оценки вошел в группу лидеров с показателем +591 кг, в то время как его официальный индекс РТА составляет всего +149 на референсную дату.

Обратная ситуация, характеризующаяся неоправданными ожиданиями, наблюдается у дочерей AltaPARQUET. Обладая одним из самых высоких индексов в каталоге, равным +1238, в исследуемых условиях он показал отрицательную племенную ценность -44 кг.

В ряде случаев оценки имеют противоположные знаки. Так, быки AltaLADDIE и AltaSWIFT, показавшие себя надежными улучшателями в данном исследовании (+246 кг и +310 кг соответственно), имеют отрицательные значения в зарубежных источниках (-199 и -357 кг относительно иностранных сверстниц).

Отдельного внимания заслуживает точность полученных оценок, которая характеризуется стандартной ошибкой среднего. Для многих наблюдаются крайне низкие значения стандартной ошибки для средних удоев сверстниц от ± 5 кг. Это является не аномалией, а прямым следствием большого объема выборки. Высокое число до-

черей обеспечивает высокую статистическую надежность и точность оценки среднего значения, что и отражается в малой величине стандартной взвешенной ошибки.

Сравнение величин селекционных дифференциалов, рассчитанных на предприятиях Новосибирской области и зарубежных с помощью критерия Манна–Уитни, не выявило статистически значимых различий ($W = 156$; $p = 0,107$). Ключевым результатом также является отсутствие корреляционной связи между данными показателями ($r_s = 0,244 \pm 0,286$).

Представленные результаты могут свидетельствовать о наличии сильного эффекта взаимодействия «генотип–среда», ставя под сомнение использование зарубежных каталогов для селекции.

Для более глубокого изучения эффекта «генотип–среда» хозяйства были разделены на две категории по медианному уровню продуктивности. Предварительный анализ распределения данных (табл. 4) выявил важную закономерность.

Характер распределения большинства групп сверстниц 1-й категории не соответствовал гауссовскому в связи как со значительно большим объемом совокупности, так и меньшей консолидацией субпопуляций. В то же время во второй категории наблюдалась другая тенденция, где животные были более однородны по уровню молочной продуктивности несмотря на большие значения стандартных ошибок. Полученные результаты свидетельствовали о необходимости применения непараметрических критериев и неприменимости традиционных параметрических подходов. Наряду с этим соответствие эмпирических распределений по показателям молочной продуктивности животных второй категории гауссовскому может быть результатом большей однородности этой категории. Подобная ситуация наблюдается и в зарубежных стадах, по которым имеется доказанная эффективность использования селекционных индексов [17].

Таблица 4

Характеристика групп дочерей и их сверстниц по категориям хозяйств
Characteristics of groups of daughters and their peers by household categories

№	Кличка быка	Группа	Первая категория			Вторая категория		
			n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	p^*	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	p^*
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	AltaESQUIRE	д.	363	11020 $\pm$ 69	0,9114	5	11471 $\pm$ 554	0,087
		св.	3226	10414 $\pm$ 36	<0,001	732	11905 $\pm$ 255	0,089
2	AltaGEDDY	д.	179	9900 $\pm$ 98	0,0939	8	11861 $\pm$ 660	0,061
		св.	3013	9862 $\pm$ 22	<0,001	2173	11135 $\pm$ 100	0,024

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	AltaIOTA	д.	587	10284 ± 62	0,8461	18	11482 ± 345	0,998
		св.	4205	9835 ± 19	<0,001	2165	11360 ± 80	0,084
4	AltaLADDIE	д.	259	10377 ± 87	0,9458	10	10794 ± 264	0,144
		св.	2304	10125 ± 52	<0,001	803	10713 ± 92	0,03
5	AltaMETEOR	д.	835	10265 ± 46	0,1962	5	11888 ± 471	0,33
		св.	6043	9864 ± 14	<0,001	591	11339 ± 15	0,347
6	AltaPARQUET	д.	306	9768 ± 78	<0,001	9	11763 ± 577	0,31
		св.	2871	9780 ± 21	<0,001	337	12854 ± 4	0,008
7	AltaROSS	д.	187	10218 ± 109	0,7984	17	11029 ± 226	0,235
		св.	2897	10058 ± 42	<0,001	1219	11312 ± 68	0,498
8	TEMPTOR	д.	29	9519 ± 272	0,1658	84	11187 ± 154	0,695
		св.	1180	9107 ± 166	0,0099	951	11331 ± 59	0,066

Примечание. * – значение уровня статистической значимости критерия Шапиро–Уилка.

Распределение быков по уровню селекционного дифференциала в зависимости от категории хозяйства представлено в табл. 5.

Согласно описанной ранее методике, производители отнесены к одной из трех категорий (улучшатели (+), ухудшатели (-), нейтральные (0)). Ожидаемым результатом видится наличие значимых отличий по продуктивности дочерей от сверстниц в первой категории, что указывает на проявление генотипа лучших зарубежных и отечественных быков, используемых в селекционных программах предприятий. Сравнительный анализ селекционных дифференциалов исследуемых категорий хозяйств свидетельствовал о проявлении эффекта «генотип–среда». Наиболее ярко он был выражен у дочерей быка AltaESQUIRE (1-я

категория). В условиях 1-й категории он проявил себя как статистически значимый улучшатель с показателем племенной ценности 606 кг. Однако в высокопродуктивных хозяйствах 2-й категории его дочери, наоборот, уступали сверстницам. Аналогичная смена ранга наблюдается у быков TEMPTOR, AltaROSS. AltaPARQUET имеет наибольшее расхождение как в первой категории (-13 кг), так и во второй (-1090 кг). Согласно проведенным парным тестам, быки, присутствующие в обеих категориях, не оказывали значимого эффекта в хозяйствах 2-й категории. Однако отдельные представители, не попавшие в первую категорию, имеют значимый прирост относительно сверстниц (EUGENIO – +190 кг и HITECH (+203 кг)).

Таблица 5

Сходимость селекционных дифференциалов по быкам в разных условиях производственной культуры
Convergence of selection differentials for bulls under different production conditions

№	Кличка быка	Селекционный дифференциал (1-я категория), кг	Селекционный дифференциал (2-я категория), кг	Селекционный дифференциал (CDN), кг
1	TEMPTOR	411 (+) *	-144 (-)	-643 (-)
2	AltaIOTA	449 (+) ***	122 (+)	743 (+)
3	AltaROSS	160 (+) *	-284 (-)	-1214 (-)
4	AltaESQUIRE	606 (+) ***	-434 (-)	149 (+)
5	AltaMETEOR	401(+) ***	549 (+)	909 (+)
6	AltaGEDDY	38 (0)	727 (+)	891 (+)
7	AltaPARQUET	-13 (0)	-1090 (-)	1238 (+)
8	AltaLADDIE	252 (+) ***	81 (0)	-199 (-)

Примечание. * – значимость парного теста.

Анализ данных, представленных в зарубежных каталогах по импортируемым быкам, позволяет в целом сделать вывод о надежности зарубежной оценки для субпопуляции западно-сибирского региона с сопоставимым зарубеж-

ным уровнем молочной продуктивности. В то же время реализация генотипов изучаемого списка производителей в худших условиях кормления, содержания и ветеринарного сопровождения была недостаточной.

Таблица 6

Сопоставление знаков между племенной ценностью в различных категориях
Comparison of signs between breeding values in different categories

Сравниваемые категории	Совпадение	Несовпадение	Доля совпадений
1 – 2	2	6	0,25
1 – CDN	3	5	0,37
2 – CDN	4	4	0,5
1 – 2 – CDN	2	6	0,25

Наибольшее количество несовпадений в сравнительной оценке быков наблюдалось в группах животных с высоким и низким уровнем продуктивности. Подобный результат обнаружен при сопоставлении сразу трех групп. Таким образом, точность оценки племенной ценности маточного поголовья по молочной продуктивности может снижаться вплоть до 75 % ниже такового порога по зарубежной оценке. Это необходимо учитывать при переоценке племенной ценности быков иностранной селекции, используемых на всей популяции молочного скота Западной Сибири.

Примечательным результатом также является совпадение зарубежных оценок с реализованным уровнем молочной продуктивности в популяции высокопродуктивных стад в 50 % случаев, тогда как для низкопродуктивных такой порог был значительно ниже (37 %).

Для более глубокого анализа взаимодействия «генотип–среда» была проанализирована подвыборка из восьми быков, имевших дочерей в обеих категориях хозяйств. Полученные результаты согласуются с представленными ранее. Было установлено отсутствие корреляции между селекционными дифференциалами быков первой и второй категорий ($r_s = 0,02$, $p = 0,96$) что в очередной раз подтверждает важность учета категорий хозяйства в качестве фиксированного фактора в перспективных моделях оценки племенной ценности животных.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты убедительно демонстрируют наличие сильного и практически значимого взаимодействия «генотип–среда», что согласуется с данными многих современных ис-

следований в разных странах. Ключевым проявлением этого эффекта является существенное расхождение в прогнозируемом и фактическом селекционным дифференциалом в разных производственных условиях. Быки, проявившие себя как статистически значимые улучшатели в хозяйствах 1-й категории, например, AltaESQUIRE с РТА +606 кг, в высокопродуктивных стадах 2-й категории показывали отрицательную племенную ценность -434 кг.

Перемена в рейтинге подчеркивает, что генетический потенциал, отобранный в одних условиях, не гарантирует успеха в других. Вероятно, в хозяйствах 1-й категории селекционное преимущество получают животные с более высокой адаптивностью и устойчивостью к стресс-факторам, в то время как в хозяйствах 2-й категории на первый план выходит способность к реализации максимального генетического потенциала в условиях, близких к оптимальным.

Этот вывод косвенно подтверждается и анализом характера распределения данных (см. табл. 4). Установлено, что в хозяйствах 2-й категории распределение удоев дочерей чаще соответствует нормальному. Это может свидетельствовать о более высокой культуре производства и стабильности технологических процессов, что снижает количество неучтенных факторов. Подобная однородность условий, как отмечается в зарубежных исследованиях, является предпосылкой для эффективной работы селекционных индексов. Однако, согласно результатам исследования, даже в более стабильных условиях зарубежный прогноз остается ненадежным.

Сравнение локальной оценки с зарубежным прогнозом от CDN выявило полное отсутствие предсказуемой взаимосвязи, что подтверждается

как анализом совпадений знаков, который показал не более 50 % совпадений, так и статистически незначимой ранговой корреляцией ($r_s = 0,22$; $p > 0,05$). Это означает, что для сибирского региона зарубежный каталог по своей надежности не превышает случайного угадывания.

Таким образом, результаты исследования доказывают, что для эффективной селекционной работы необходимо создание и внедрение системы локальной оценки племенной ценности.

ВЫВОДЫ

1. Установлено сильное взаимодействие «генотип–среда», которое проявляется в значительных различиях племенной ценности быков-производителей при их оценке в различных производственных условиях. Быки, демонстрирующие высокий генетический потенциал в одних условиях, могут показывать нейтральные или даже отрицательные результаты в других, более высокопродуктивных стадах.

2. Локальная оценка племенной ценности быков, проведенная с учетом конкретных условий хозяйств Западной Сибири, показала низкую сходимость с прогнозами, представленными в зарубежном каталоге Canadian Dairy Network. Доля совпадений оценок не превышает 50 %, что указывает на статистически незначимую связь ($r_s = 0,244$) и делает прямое использование за-

рубежных данных для принятия селекционных решений ненадежным.

3. Стратификация хозяйств по уровню продуктивности является необходимым методическим приемом для корректной оценки эффекта «генотип–среда». Анализ показал, что одни и те же быки могут выступать как улучшатели в одной категории хозяйств и как ухудшатели в другой. В частности, бык AltaESQUIRE проявил себя как статистически значимый улучшатель (+606 кг) в хозяйствах первой категории, но показал отрицательную племенную ценность в высокопродуктивных стадах.

4. Отсутствие сильной корреляции между селекционными дифференциалами в разных категориях хозяйств ($r_s = 0,02$; $p = 0,96$) подтверждает, что реализация генетического потенциала в значительной степени определяется средовыми факторами. Следовательно, для повышения эффективности селекционно-племенной работы в регионе необходимо внедрение системы локальной оценки племенной ценности, учитывающей условия конкретных производственных систем. Такая система послужит объективным инструментом для отбора быков и разработки региональных программ селекции, нацеленных на максимальную реализацию генетического потенциала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Достоверность* данных первичного зоотехнического учета в молочном скотоводстве / Е.В. Камалдинов, А.Ф. Петров, К.С. Шатохин [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 2 (63). – С. 76–83. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-76-83.
2. Хромова О.Л., Селимян М.О. Влияние скрещивания с голштинской породой на воспроизводительные признаки крупного рогатого скота отечественных молочных пород // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2022. – № 2 (39). – С. 68–78. – DOI: 10.35523/2307-5872-2022-39-2-68-78.
3. *Genotype-by-environment* interactions in beef and dairy cattle populations: A review of methodologies and perspectives on research and applications / J.B. Silva Neto, L.F.M. Mota, M. Londoño-Gil [et al.] // Animal Genetics. – 2024. – DOI: 10.1111/age.13483.
4. *Optimization of Dairy Cattle Breeding Programs with Genotype by Environment Interaction in Kenya* / P.K. Wahinya, G.M. Jeyaruban, A.A. Swan, J.H.J. van der Werf // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, № 8. – P. 1274. – DOI: 10.3390/agriculture12081274.
5. *Genotype-environment* interaction for age at first calving in Holstein cows in Brazil / J.C. Santos, C.H.M. Malhado, P.L.S. Carneiro [et al.] // Veterinary and Animal Science. – 2020. – Vol. 9. – P. 100098. – DOI: 10.1016/j.vas.2020.100098.
6. *Two approaches to account for genotype-by-environment interactions for production traits and age at first calving in South African Holstein cattle* / V. Ducrocq, A. Cadet, C. Patry [et al.] // Genetics Selection Evolution. – 2022. – Vol. 54. – P. 43. – DOI: 10.1186/s12711-022-00735-5.
7. *Genotype × region and genotype × production level interactions in Holstein cows* / J.L. Chuma-Alvarez, H.H. Montaldo, C. Lizana [et al.] // Animal. – 2021. – Vol. 15, № 9. – P. 100320. – DOI: 10.1016/j.animal.2021.100320.
8. Оценка качества генеалогических данных в племенных предприятиях Западной Сибири / Е.В. Камалдинов, А.Ф. Петров, К.Н. Нарожных, П.Н. Пальчиков // Животноводство и кормопроизводство. – 2024. – Т. 107, № 4. – С. 53–67. – DOI: 10.33284/2658-3135-107-4-53.

9. *Возраст выбытия коров из стада в зависимости от генетических и паратипических факторов* / О.С. Чеченихина, О.А. Быкова, О.Г. Лоретц, А.В. Степанов // *Аграрный вестник Урала*. – 2021. – № 6 (209). – С. 71–79. – DOI: 10.32417/1997-4868-2021-209-06-71-79.
10. *Шевелева О.М., Связенина М.А.* Влияние быков на продуктивные качества потомства // *Животноводство и кормопроизводство*. – 2023. – Т. 106, № 4. – С. 40–56. – DOI: 10.33284/2658-3135-106-4-40.
11. *Processamento de dados para remoção de pontos outliers e inliers: Estudo sistemático da literature* / F. Alves, E.G. de Souza, R. Sobjak [et al.] // *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. – 2024. – Vol. 28, № 9. – e278672. – DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v28n9e278672.
12. *Lactanet Canada: Genetic Evaluations Data Files* [Электронный ресурс]. – URL: <https://lactanet.ca/en/genetics/genetic-evaluations/data-files/> (дата обращения: 24.05.2024).
13. *Giorgi F.M., Ceraolo C., Mercatelli D.* The R Language: An Engine for Bioinformatics and Data Science // *Life*. – 2022. – Vol. 12, № 5. – P. 648. – DOI: 10.3390/life12050648.
14. *Radomski A.* Exploratory analysis and data visualization using the ggplot2 package in R-the basics of a digital cultural and historical researcher's workshop // *Historyka Studia Metodologiczne*. – 2024. – Т. 54. – P. 175–194. – DOI: 10.24425/hsm.2024.153701.
15. *Grolemund G., Wickham H.* Dates and Times Made Easy with lubridate // *Journal of Statistical Software*. – 2011. – Vol. 40, № 3. – P. 1–25. – DOI: 10.18637/jss.v040.i03.
16. *Bengtsson H.* future: Unified Parallel and Distributed Processing in R for Everyone // CRAN R-project: URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/future/index.html> (дата обращения: 19.09.2025).
17. *Genotype by Environment Interaction and Selection Response for Milk Yield Traits and Conformation in a Local Cattle Breed Using a Reaction Norm Approach* / C. Sartori, F. Tiezzi, N. Guzzo [et al.] // *Animals*. – 2022. – Vol. 12, № 7. – Art. № 839. – DOI: 10.3390/ani12070839.

REFERENCES

1. Kamaldinov E.V., Petrov A.F., Shatokhin K.S., Narozhnykh K.N., Marenkov V.G., Zhigulin T.A., Bogdanova O.V., Palchikov P.N., Plakhova A.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2022, No. 2 (63), pp. 76–83, DOI: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-76-83. (In Russ.).
2. Khromova O.L., Selimyan M.O., *Agrarnyy vestnik Verkhnevolzh'ya*, 2022, No. 2 (39), pp. 68–78, DOI: 10.35523/2307-5872-2022-39-2-68-78. (In Russ.).
3. Silva Neto J.B., Mota L.F.M., Londoño-Gil M., Schmidt P.I., Rodrigues G.R.D., Ligor V.A., Arikawa L.M., Magnabosco C.U., Brito L.F., Baldi F., Genotype-by-environment interactions in beef and dairy cattle populations: A review of methodologies and perspectives on research and applications, *Animal Genetics*, 2024, DOI: 10.1111/age.13483.
4. Wahinya P.K., Jeyaruban G.M., Swan A.A., van der Werf J.H.J., Optimization of Dairy Cattle Breeding Programs with Genotype by Environment Interaction in Kenya, *Agriculture*, 2022, Vol. 12, No. 8, pp. 1274, DOI: 10.3390/agriculture12081274.
5. Santos J.C., Malhado C.H.M., Carneiro P.L.S., de Rezende M.P.G., Cobuci J.A., Genotype-environment interaction for age at first calving in Holstein cows in Brazil, *Veterinary and Animal Science*, 2020, Vol. 9, pp. 100098, DOI: 10.1016/j.vas.2020.100098.
6. Ducrocq V., Cadet A., Patry C., van der Westhuizen L., van Wyk J.B., Naser F.W.C., Two approaches to account for genotype-by-environment interactions for production traits and age at first calving in South African Holstein cattle, *Genetics Selection Evolution*, 2022, Vol. 54, pp. 43, DOI: 10.1186/s12711-022-00735-5.
7. Chuma-Alvarez J.L., Montaldo H.H., Lizana C., Olivares M.E., Ruiz-López F.J., Genotype × region and genotype × production level interactions in Holstein cows, *Animal*, 2021, Vol. 15, No. 9, pp. 100320, DOI: 10.1016/j.animal.2021.100320.
8. Kamaldinov E.V., Petrov A.F., Narozhnykh K.N., Palchikov P.N., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2024, Vol. 107, No. 4, pp. 53–67, DOI: 10.33284/2658-3135-107-4-53. (In Russ.).
9. Chechenikhina O.S., Bykova O.A., Loretts O.G., Stepanov A.V., *Agrarnyy vestnik Urala*, 2021, No. 06 (209), pp. 71–79, DOI: 10.32417/1997-4868-2021-209-06-71-79. (In Russ.).
10. Sheveleva O.M., Svyazhenina M.A., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2023, Vol. 106, No. 4, pp. 40–56, DOI: 10.33284/2658-3135-106-4-40. (In Russ.).
11. Alves F., de Souza E.G., Sobjak R., Bazzi C.L., Hachisuca A.M.M., Mercante E., Processamento de dados para remoção de pontos outliers e inliers: Estudo sistemático da literature, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2024, Vol. 28, No. 9, e278672. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v28n9e278672.
12. Lactanet Canada: Genetic Evaluations Data Files, available at: <https://lactanet.ca/en/genetics/genetic-evaluations/data-files/> (accessed 24.05.2024).
13. Giorgi F.M., Ceraolo C., Mercatelli D., The R Language: An Engine for Bioinformatics and Data Science, *Life*, 2022, Vol. 12, No. 5, pp. 648, DOI: 10.3390/life12050648.

14. Radomski A., Exploratory analysis and data visualization using the ggplot2 package in R-the basics of a digital cultural and historical researcher's workshop, *Historyka Studia Metodologiczne*, 2024, Vol. 54, pp. 175–194, DOI: 10.24425/hsm.2024.153701.
15. Grolemond G., Wickham H., Dates and Times Made Easy with lubridate, *Journal of Statistical Software*, 2011, Vol. 40, No. 3, pp. 1–25, DOI: 10.18637/jss.v040.i03.
16. Bengtsson H. future: Unified Parallel and Distributed Processing in R for Everyone, *CRAN R-project*, available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/future/index.html> (accessed: 19.09.2025).
17. Sartori C., Tiezzi F., Guzzo N., Mancin E., Tuliozi B., Mantovani R., Genotype by Environment Interaction and Selection Response for Milk Yield Traits and Conformation in a Local Cattle Breed Using a Reaction Norm Approach, *Animals*, 2022, Vol. 12, No. 7, Art. No. 839, DOI: 10.3390/ani12070839.

Информация об авторах:

Т.А. Жигулин, аспирант

Е.В. Камалдинов, доктор биологических наук, доцент

П.Н. Пальчиков, руководитель АО «Новосибирскагроплем»

Contribution of the authors:

T.A. Zhigulin, postgraduate student

E.V. Kamaladinov, D.Sc, (Biology), Assoc, Prof

P.N. Palchikov, Director JSC Novosibirskagroplem

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СВЯЗИ ГЕНОТИПОВ BMPR-IB С ПОКАЗАТЕЛЯМИ МИНЕРАЛЬНОГО ОБМЕНА У ОВЕЦ РОМАНОВСКОЙ ПОРОДЫ

Т.В. Коновалова, Е.А. Климанова, Е.И. Тарасенко, О.И. Себежко, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, И.В. Морузи, Е.В. Пищенко, В.Г. Маренков

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: tapetva@gmail.com

Для цитирования: Связи генотипов BMPR-IB с показателями минерального обмена у овец романовской породы / Т.В. Коновалова, Е.А. Климанова, Е.И. Тарасенко, О.И. Себежко, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, И.В. Морузи, Е.В. Пищенко, В.Г. Маренков // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 161–169. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-161-169.

Ключевые слова: BMPR-IB, овцы романовской породы, минеральный обмен, натрий, полиморфизм, кластерный анализ, селекция, генетические маркеры.

Реферат. Целью работы явилось изучение ассоциаций полиморфизма гена BMPR-IB с концентрацией макроэлементов (Na, Mg, K) в сыворотке крови овец романовской породы. Уровень макроэлементов в органах и тканях животных является одним из важных показателей в комплексной характеристике интерьера. Ген BMPR-IB, кодирующий рецептор костных морфогенетических белков, играет ключевую роль в репродуктивной функции, однако его влияние на минеральный обмен изучено недостаточно. В исследовании использовали выборку овец ($n = 58$), содержащихся в одинаковых условиях при стандартном рационе питания. В ходе работы методами ПЦР-ПДРФ и непараметрической статистики выявлены статистически значимые различия в концентрации натрия между генотипами ++ и M+ (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,00192$; пост-хок тест Данна, $p = 0,0014$). Установлено, что у гетерозиготных животных (M+) концентрация натрия была достоверно выше на 43 % (136,30 против 95,15 ммоль/л), чем у гомозигот дикого типа (++) , с большим размером эффекта ($r = 0,54$). Статистическая значимость сохранилась после коррекции на множественные сравнения ($p\_FDR = 0,0058$). Для магния и калия значимых ассоциаций с генотипом не обнаружено. Полученные данные свидетельствуют о плейотропном влиянии гена BMPR-IB на минеральный обмен и раскрывают потенциал использования генотипа M+ в качестве молекулярного маркера в селекционных программах для оптимизации метаболического статуса овец. Выявленная ассоциация предполагает возможное участие данного гена в регуляции функции почек и водно-солевого гомеостаза, что открывает новые направления для фундаментальных исследований в области физиологии животных. Результаты работы подчеркивают важность комплексного изучения генетических маркеров для разработки эффективных стратегий селекции сельскохозяйственных животных.

ASSOCIATIONS OF BMPR-IB GENOTYPES WITH MINERAL METABOLISM INDICORS IN ROMANOV SHEEP

T.V. Konovalova, E.A. Klimanova, E.I. Tarasenko, O.I. Sebezhko, O.S. Korotkevich, V.L. Petukhov, I.V. Moruzi, E.V. Pishchenko, V.G. Marenkov

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: tapetva@gmail.com

Keywords: BMPR-IB, Romanov sheep, mineral metabolism, sodium, polymorphism, cluster analysis, breeding, genetic markers.

Abstract. The aim of this work was to study the associations of BMPR-IB gene polymorphism with the concentration of macroelements (Na, Mg, K) in the blood serum of Romanov sheep. The level of macroelements in animal organs and tissues is one of the important indicators for a comprehensive characterization of the interior. The BMPR-IB gene, which encodes a receptor for bone morphogenetic proteins, plays a key role in reproductive function; however, its influence on mineral metabolism has not been sufficiently studied. The study used a sample of sheep ($n = 58$) kept under the same conditions and on a standard diet. Using PCR-RFLP and non-parametric statistics, statistically significant differences in sodium concentration between the ++ and M+ genotypes were revealed (Kruskal-Wallis test, $p = 0.00192$; Dunn's post-hoc test, $p = 0.0014$). It was found that heterozygous (M+) animals had a significantly higher sodium concentration by 43 % (136.30 vs. 95.15 mmol/L) compared

to wild-type homozygotes (++), with a large effect size ($r = 0.54$). The statistical significance remained after correction for multiple comparisons ($p\_FDR = 0.0058$). No significant associations with the genotype were found for magnesium and potassium. The obtained data indicate a pleiotropic effect of the BMPR-IB gene on mineral metabolism and reveal the potential of using the M+ genotype as a molecular marker in breeding programs for optimizing the metabolic status of sheep. The identified association suggests a possible involvement of this gene in the regulation of kidney function and water-salt homeostasis, opening new directions for fundamental research in animal physiology. The results of the work emphasize the importance of comprehensive study of genetic markers for developing effective breeding strategies for farm animals.

В настоящее время возрастает интерес к исследованиям в области элементного состава сельскохозяйственных животных, что обусловлено важностью минерального обмена для продуктивности и здоровья [1, 2].

Изучение полиморфизмов ключевых генов у овец представляет значительный интерес для современного животноводства. Выявление молекулярных маркеров, ассоциированных с хозяйственно полезными признаками (плодовитость, метаболизм, продуктивность), активно демонстрируется в работах по генам BMP-15, GDF-9 [3, 4], β -лактоглобулину, кальпастанину, миоастатину [5–7] и BLG [8], что вносит прямой вклад в оптимизацию селекционных программ. Одним из таких ключевых генов является BMPR-IB (Bone Morphogenetic Protein Receptor Type 1B), который кодирует рецептор костных морфогенетических белков, участвующий в сигнальном пути TGF- β . Полиморфизмы этого гена определяют ключевые репродуктивные признаки, такие как частота овуляции и размер помета [9, 10], что находит подтверждение в исследованиях на генетических моделях овец [11]. Мутация FeeB (A746G) в гене BMPR-IB связана с повышенной плодовитостью у различных пород овец, таких как мериносы бурула, ху и малые ханские овцы с коротким хвостом [11, 12], а также была обнаружена в двадцать одной высокопродуктивной породе [13]. Современные геномные исследования также выявляют миссенс-варианты генов, ассоциированные с плодовитостью овец [14].

Экспрессия BMPR-IB наиболее высока в почках, яичниках и гипофизе [15], что свидетельствует о его участии не только в репродуктивных процессах, но и в других физиологических функциях. Взаимодействие BMPR-IB с белками сигнальных путей Smads, MAPK и TGF- β [16] предполагает его потенциальное влияние на различные аспекты метаболизма, включая минеральный обмен.

Минералы Na, Mg и K играют критическую роль в поддержании осмотического баланса, нервно-мышечной передачи и энергетического метаболизма. Дисбаланс этих элементов может приводить к снижению продуктивности и на-

рушению репродуктивной функции [1, 17, 18]. Генетические факторы, в том числе полиморфизмы генов, участвующих в ионном транспорте, могут влиять на метаболизм минералов. Имеются данные об изменениях метаболизма кальция и фосфора у овец с мутацией FeeB [10], что позволяет предположить аналогичные механизмы регуляции для Na, Mg и K.

Целью настоящей работы являлось установление ассоциаций между генотипами BMPR-IB и содержанием макроэлементов (Na, Mg, K) в сыворотке крови у овец романовской породы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследовании использовали выборку овец романовской породы ($n = 58$). Животные содержались в одинаковых условиях и получали стандартный рацион. Не выявлено превышения ПДК в кормах, почве и воде тяжелых металлов в Кузбассе, где разводились овцы [17].

ДНК выделяли из цельной крови с использованием набора «Биомикс» в соответствии с протоколом производителя. Генотипирование по гену BMPR-IB проводили с помощью ПЦР-ПДРФ анализа [18, 19]. Были идентифицированы три генотипа: гомозиготы по аллелю дикого типа (++), гетерозиготы (M+) и гомозиготы по мутантному аллелю (MM).

Концентрации натрия, калия и магния в сыворотке крови определяли фотометрическим методом с использованием коммерческих наборов («Векто-Бэст», «Омиксдиагностикум»).

Нормальность распределения проверяли критерием Шапиро–Уилка. В связи с нарушением нормальности для сравнения групп применяли непараметрический критерий Краскела–Уоллиса с последующим пост-хок тестом Данна. Для контроля ложноположительных результатов при множественном тестировании использовали коррекцию Бенджамини–Хохберга (FDR). Размер эффекта оценивали с помощью r -эффекта для теста Манна–Уитни. Для описания центральной тенденции и вариабельности данных, на-

ряду с медианой и межквартильным размахом, представлены доверительные интервалы (95 %) для медиан, рассчитанные непараметрическим бустрэн-методом с 10 000 повторов с использованием пакета boot. Для робастного сравнения групп также были рассчитаны усеченное среднее (с 5 % усечением с каждого конца) и М-оценка.

Для визуализации распределения данных использовали графики типа «ящик с усами» (boxplot) [20, 21].

В связи с малым размером выборки группа ММ была исключена из попарных сравнений и некоторых видов визуализации, однако была включена в общий тест Краскела–Уоллиса для оценки различий между всеми тремя генотипами. Все расчеты выполнены в среде R (v. 4.1.0) с использованием пакетов stats, ggplot2, dunn.test, cluster [20, 21].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В табл. 1 представлены описательные статистики по концентрациям Mg, K и Na для трех генотипических групп. Наблюдаются различия в вариабельности показателей между группами. Для гетерозигот (М+) характерна наибольшая вариабельность уровня магния ($sd = 0,278$, $IQR = 0,365$) по сравнению с другими группами. Концентрация калия демонстрирует наименьшую вариабельность у гомозигот ММ, что связано с малым размером выборки для данной группы. Для натрия наблюдается наибольший разброс значений во всех группах, особенно у гетерозигот М+ ($sd = 46,82$, $IQR = 58,15$).

Таблица 1

Показатели минерального обмена в группах с разными генотипами по гену BMPR-IB
Mineral metabolism indices in groups with different genotypes for the BMPR-IB gene

Генотип	<i>n</i>	Элемент	mean_	sem	median	<i>sd</i>	Q_1	Q_3	<i>IQR_</i>
++	25	Mg	1,111	0,026	1,070	0,128	1,040	1,160	0,120
		K	7,640	0,288	7,0	1,440	7,0	8,0	1,0
		Na	95,15	7,966	84,11	39,83	60,28	120,65	60,37
М+	31	Mg	1,037	0,050	1,060	0,278	0,830	1,195	0,365
		K	7,677	0,378	7,0	2,104	7,0	8,0	1,0
		Na	136,30	8,409	140,00	46,82	105,85	164,00	58,15
ММ	2	Mg	1,115	0,005	1,115	0,007	1,113	1,118	0,005
		K	7,000	0,000	7,0	0,000	7,0	7,0	0,0
		Na	101,50	18,500	101,50	26,16	92,25	110,75	18,50

Примечание. mean – среднее; sem – ст. ошибка среднего; median – медиана; *sd* – ст. отклонение; Q_1 , Q_3 – квартили; *IQR* – межквартильный размах.

При попарном сравнении выявлены статистически значимые различия в концентрации натрия между генотипами ++ и М+ (тест Данна, $p = 0,0014$). Медиана в группе М+ была достоверно выше, чем в группе ++. Для магния и калия значимых различий не обнаружено (критерий Краскела–Уоллиса: для Mg – $p = 0,512$; для K – $p = 0,874$).

Критерий Краскела–Уоллиса выявил наличие статистически значимых различий в распределении концентрации натрия между генотипами ($\chi^2 = 12,511$, $df = 2$, $p = 0,00192$). У гетерозиготных животных концентрация натрия в сыворотке крови была в среднем на 43 % выше, чем у гомозигот ++ (136,30 против 95,15 ммоль/л, $p < 0,001$).

Размер эффекта составил $r = 0,54$. Согласно общепринятой классификации данная величина интерпретируется как большой эффект ($\geq 0,5$), что подчеркивает не только статистическую, но и практическую значимость влияния генотипа BMPR-IB на метаболизм натрия. Статистическая значимость сохранилась после коррекции на множественные сравнения ($p\_FDR = 0,0058$).

На рис. 1 представлен график типа «ящик с усами» (boxplot), демонстрирующий различия в медианных значениях и межквартильном размахе концентрации натрия между генотипами. Гетерозиготные особи (М+) характеризуются достоверно более высоким медианным уровнем натрия по сравнению с гомозиготами дикого типа (++).

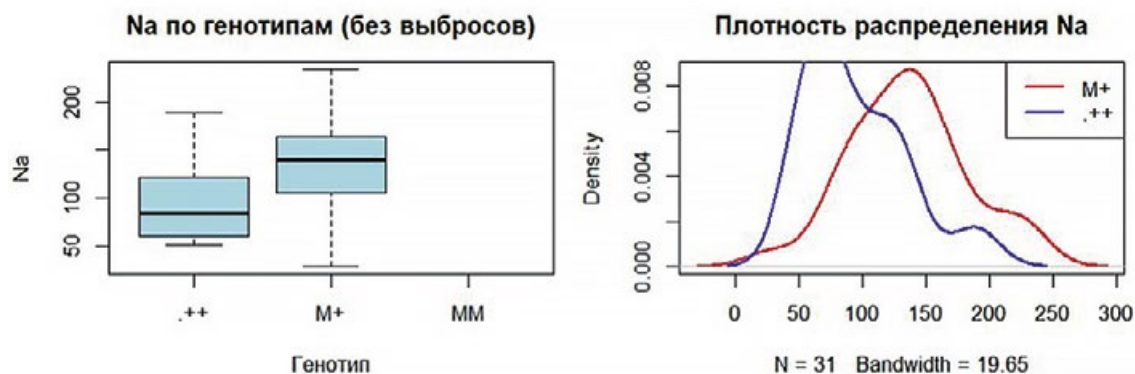


Рис. 1. Распределение концентрации натрия в сыворотке крови у овец с разными генотипами BMPR-IB (группа MM исключена из визуализации в связи с малым размером выборки)

Distribution of serum sodium concentration in sheep with different BMPR-IB genotypes (MM group excluded from visualization due to small sample size)

В дополнение для наглядной визуализации результатов теста Данна была построена дендрограмма, основанная на p -значениях попарных сравнений (рис. 2). Она графически иллюстрирует степень статистической обособленности гетерозиготной группы M+.

На рис. 2 представлена дендрограмма, визуализирующая результаты попарного пост-хок

сравнения групп по концентрации Na с помощью теста Данна. Высота кластера соответствует $1 - p\text{-value}$. Наблюдается четкое отделение группы M+ от группы ++, что подтверждает статистическую значимость различий между этими генотипами.

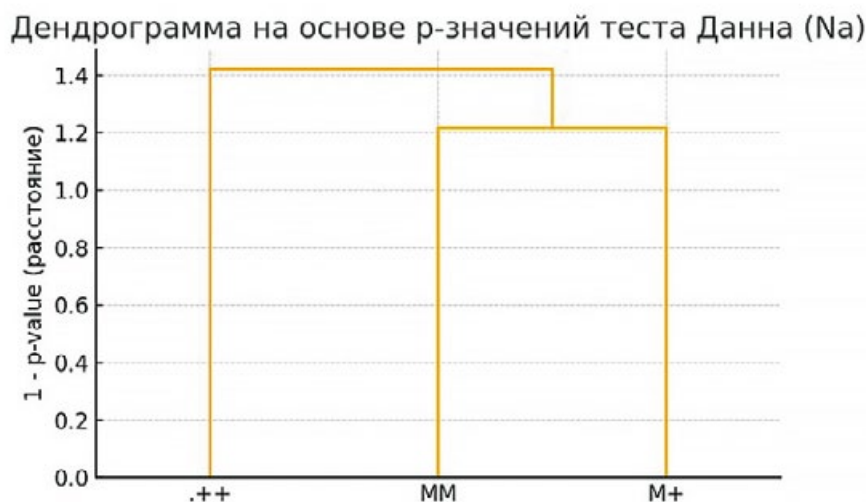


Рис. 2. Дендрограмма на основе p -значений теста Данна для концентрации Na
Dendrogram based on Dunn's test p-values for Na concentration

Анализ выявил четкое разделение генотипа M+ от генотипов ++ и MM, которые объединились в один кластер на более низком уровне сходства. Это свидетельствует о том, что гетерозиготный генотип ассоциирован с уникальным профилем минерального обмена, в первую очередь за счет высокой концентрации натрия.

Результаты робастного анализа, подтверждающие выявленные различия, представлены в табл. 2. Как видно, бустрэнп-доверительные

интервалы (95 %) для медиан концентрации натрия у генотипов M+ (109,57–146,00) и ++ (60,28–118,70) не перекрываются, что статистически подтверждает наличие значимых различий. Аналогичную картину демонстрируют и другие робастные оценки центральной тенденции (усеченное среднее, M-оценка), значения которых для гетерозигот (M+) стабильно превышают таковые для гомозигот дикого типа (++).

Таблица 2

Робастный анализ концентрации натрия по генотипам BMPR-IB
Robust analysis of sodium concentration by BMPR-IB genotypes

Генотип	<i>n</i>	Медиана	95 % бустрэл-ДИ	Среднее	Усеченное среднее	М-оценка
M+	31	140,00	109,57–146,00	136,30	134,89	135,39
.++	25	84,11	60,28–118,70	95,15	90,31	92,11

Статистическую значимость разницы между группами дополнительно подтверждает анализ бустрэл-распределения разности медиан (рис. 3).

Для наглядной оценки значимости различий между генотипами было построено бустрэл-распределение разности медиан концентрации натрия ($M+ - ++$) на основе псевдовыборок (см. рис. 3).

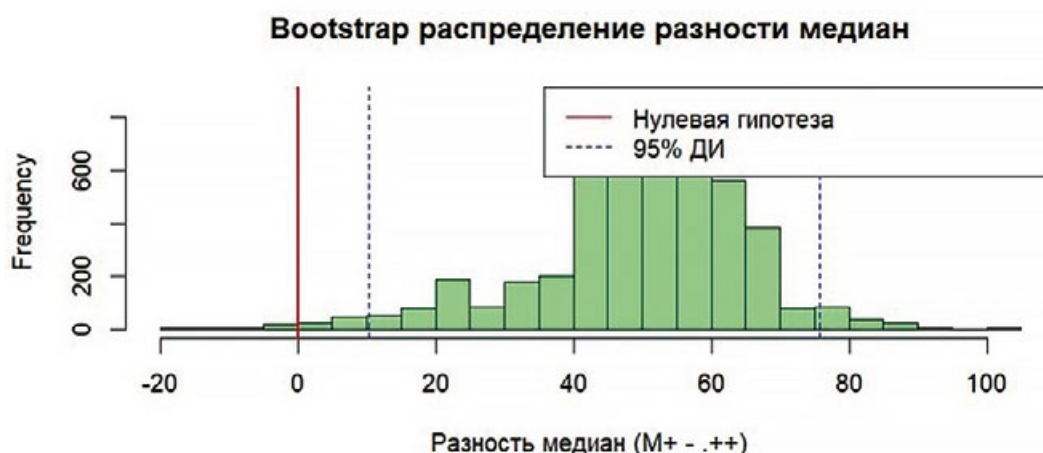


Рис. 3. Распределение разности медиан концентрации натрия ($M+ - ++$), полученное бустрэл-методом ($n = 10\,000$ повторов)

Distribution of the difference in median sodium concentrations ($M+ - ++$) obtained by the bootstrap method ($n = 10\,000$ replicates)

Вертикальные линии обозначают 95 % доверительный интервал для разности медиан. Нулевая гипотеза (отсутствие различий) соответствует значению 0. Распределение, смещенное вправо от нуля, и доверительный интервал, не включающий нулевое значение, статистически подтверждают

достоверно более высокий уровень натрия у гетерозиготных животных ($M+$).

Для оценки точности определения медиан в каждой группе в отдельности были построены бустрэл-распределения для генотипов $M+$ и $++$ (рис. 4).

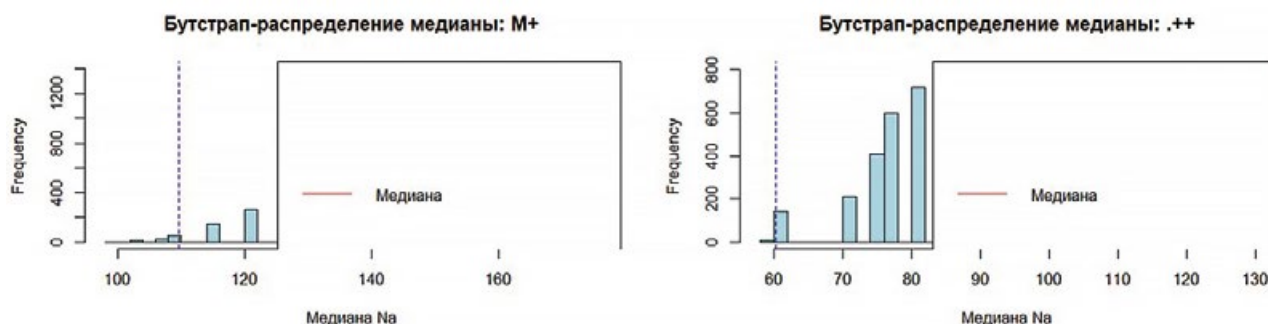


Рис. 4. Бустрэл-распределение медиан концентрации натрия в сыворотке крови для генотипов $M+$ (A) и $++$ (B)
Bootstrap distribution of median serum sodium concentrations for the $M+$ (A) and $++$ (B) genotypes

Вертикальными линиями показаны выборочные медианы. Распределения демонстрируют точность оценки медиан: для генотипа М+ медиана составляет приблизительно 140 ммоль/л и оценена с высокой точностью, в то время как для генотипа ++ медиана (~84 ммоль/л) характеризуется большим разбросом, что отражает высокую вариабельность концентрации натрия в этой группе.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обнаруженный эффект может быть связан с ролью ВМРР-ІВ в регуляции натриевых каналов в почках [22], однако для подтверждения этой гипотезы требуются дополнительные молекулярные исследования. Высокая экспрессия гена ВМРР-ІВ в почках [15] согласуется с полученными данными о его влиянии на метаболизм натрия. Можно предположить, что полиморфизм в гене ВМРР-ІВ влияет на активность транспортеров натрия в нефронах или на регуляцию ренин-ангиотензин-альдостероновой системы.

Полученные данные свидетельствуют об ассоциации полиморфизма гена ВМРР-ІВ с регуляцией метаболизма натрия и позволяют предположить эффект сверхдоминирования, при котором гетерозиготные особи превосходят по фенотипу обе гомозиготные группы. Выявленная связь согласуется с представлением о плеiotропном влиянии гена ВМРР-ІВ, который может модулировать различные физиологические пути, включая липидный [19, 23] и белковый обмен [15, 16], а также эндокринную регуляцию [18]. Эти результаты в совокупности с выявленными ранее связями полиморфизмов других важных генов-кандидатов (β -лактоглобулин, кальпастан) с биохимическими показателями [5, 6, 8] подтверждают перспективность и необходимость комплексного изучения генетических маркеров для прогнозирования метаболического статуса и управления селекционным процессом у овец.

Обнаруженный эффект может быть опосредован ролью белка ВМРР-ІВ в сигнальных каскадах, регулирующих функцию почек, основного органа, контролирующего гомеостаз натрия. Высокая экспрессия гена в почках [15] согласуется с по-

лученными результатами. Можно предположить, что мутация в гене ВМРР-ІВ влияет на активность натриевых транспортеров в нефронах (таких как ENaC, NKCC2) или на регуляцию ренин-ангиотензин-альдостероновой системы (РААС) [22].

Результаты исследования вносят вклад в понимание генетических механизмов минерального гомеостаза у овец и предлагают новые молекулярные маркеры для селекционных программ. Выявленный ассоциированный с повышенным содержанием натрия генотип М+ может представлять интерес для программ разведения, направленных на улучшение метаболических характеристик животных.

Оптимизация селекционно-генетических программ предполагает переход к полигенному отбору, учитывающему комплекс хозяйственно полезных признаков. Ключевым элементом данного направления является интеграция анализа полиморфизмов генов, контролирующих метаболизм [5–8], с оценкой адаптивного потенциала породы [24] и использованием маркеров, таких например, как связь убойного выхода с гормональным статусом [25].

ВЫВОДЫ

1. Проведенное исследование выявило достоверные различия в концентрации натрия в сыворотке крови между гетерозиготами (М+) и гомозиготами дикого типа (++) по гену ВМРР-ІВ у овец романовской породы. У гетерозиготных животных содержание натрия было в среднем на 43 % выше (136,30 против 95,15 ммоль/л, $p < 0,001$), с большим размером эффекта ($r = 0,54$). Статистическая значимость результатов подтверждена после коррекции на множественные сравнения ($p\_FDR = 0,0058$).

2. Для подтверждения обнаруженных взаимосвязей и выяснения молекулярных механизмов влияния полиморфизма ВМРР-ІВ на метаболизм натрия требуются дальнейшие исследования с увеличением выборки и применением методов функциональной геномики.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-26-00136.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Underwood E.J., Suttle N.F. The Mineral Nutrition of Livestock. – 4th ed. – CABI Publishing, 1999. – 624 p.
2. Биология, генетика и селекция овцы / А.В. Кушнир, В.И. Глазко, В.Л. Петухов [и др.]. – Новосибирск: НГАУ, 2010. – 524 с.

3. Климанова Е.А., Коновалова Т.В. Полиморфизм локуса BMP-15 у овец романовской породы в условиях Западной Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 2 (67). – С. 197–204.
4. Распределение генотипов по локусу гена дифференциального фактора роста 9 (GDF-9) в популяции овец романовской породы / Е.А. Климанова, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 3 (72). – С. 196–204.
5. Климанова Е.А., Коновалова Т.В. Генетический полиморфизм β -лактоглобулина в популяциях овец и его связь с некоторыми биохимическими показателями // Зоотехния. – 2024. – № 6. – С. 4–8.
6. Климанова Е.А., Коновалова Т.В. Полиморфизм гена кальпастина (CAST) у овец романовской породы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2025. – Т. 55, № 1 (314). – С. 76–83.
7. Показатели белкового обмена у овец с разными генотипами по гену миостатина / Т.В. Коновалова, Е.А. Климанова, А.В. Назаренко, Е.И. Тарасенко, О.И. Себежко // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2 (75). – С. 192–199.
8. Генетический полиморфизм BLG и его ассоциация с показателями углеводного метаболизма у романовских овец / Е.И. Тарасенко, Е.А. Климанова, Т.В. Коновалова, А.В. Назаренко // Зоотехния. – 2025. – № 7. – С. 12–16.
9. Mutation in bone morphogenetic protein receptor-IB is associated with increased ovulation rate in Booroola Merino ewes / P. Mulsant, F. Lecerf, S. Fabre [et al.] // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2001. – № 9 (98). – P. 5104–5109. – DOI: 10.1073/pnas.091577598.
10. Genetic mutations influencing ovulation rate in sheep / K.P. McNatty, J.L. Juengel, T. Wilson [et al.] // Reprod. Fertil. Dev. – 2001. – Vol. 13, № 7–8. – P. 549–555. – DOI: 10.1071/RD01073.
11. Mutations in BMPR-IB and BMP-15 genes are associated with litter size in Small Tailed Han sheep / M.X. Chu, Z.H. Liu, C.L. Jiao [et al.] // J. Anim. Sci. – 2007. – Vol. 85. – P. 598–603. – DOI: 10.2527/jas.2006-324.
12. Polymorphisms of coding region of BMPR-IB gene and their relationship with litter size in sheep / M. Chu, L. Jia, Y. Zhang [et al.] // Molecular Biology Reports. – 2010. – Vol. 38 (6). – P. 4076–6. – DOI: 10.1007/s11033-010-0526-z.
13. Using sheep genomes from diverse U.S. breeds to identify missense variants in genes affecting fecundity / M.P. Heaton, T.P.L. Smith, B.A. Freking [et al.] // F1000Research. – 2017. – Vol. 6. – P. 1303. – DOI: 10.12688/f1000research.12216.1.
14. Polymorphisms in BMPR-IB gene and their association with litter size trait in Chinese Hu sheep / Z. Yang, X. Yang, G. Liu [et al.] // Animal Biotechnology. – 2020. – Vol. 33 (2). – P. 250–259. – DOI: 10.1080/10495398.2020.1789158.
15. Eukaryotic expression, Co-IP and MS identify BMPR-IB protein-protein interaction network / J. Jia, J. Jin, Q. Chen [et al.] // Biological Research. – 2020. – Vol. 53 (1). – P. 24. – DOI: 10.1186/s40659-020-00290-7.
16. Коновалова Т.В., Донченко А.С. Содержание, изменчивость и корреляции тяжелых металлов в органах и тканях овец романовской породы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2024. – Т. 54, № 12 (313). – С. 99–108.
17. Ecological and biochemical evaluation of elements content in soil and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia / A.I. Syso, M.A. Lebedeva, A.S. Cherevki [et al.] // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Vol. 9, № 4. – P. 368–374.
18. Климанова Е.А., Коновалова Т.В., Кочнев Н.Н. Полиморфизм локуса BMPR-IB у овец романовской породы в условиях Кузбасса // Зоотехния. – 2024. – № 1. – С. 15–17.
19. Полиморфизм в гене BMPR-IB и его связь с липидным обменом у овец / Е.А. Климанова, Т.В. Коновалова, О.И. Себежко [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2 (75). – С. 186–191.
20. *Dimto A. dunn.test: Dunn's Test of Multiple Comparisons Using Rank Sums* [Электронный ресурс]: R package version 1.3.5. – 2017. – Режим доступа: <https://CRAN.R-project.org/package=dunn.test> (дата обращения: 19.05.2025).
21. *R: A language and environment for statistical computing* [Электронный ресурс] / R Foundation for Statistical Computing. – Vienna, Austria, 2021. – Режим доступа: <https://www.R-project.org/> (дата обращения: 19.05.2025).
22. Collecting Duct Principal Cell Transport Processes and Their Regulation / D. Pearce, R. Soundararajan, C. Trimpert [et al.] // Clinical Journal of the American Society of Nephrology. – 2015. – Vol. 10, № 1. – P. 135–146. – DOI: 10.2215/CJN.05760513.
23. Морозов И.Н., Себежко О.И. Сезонные различия липидного профиля овцематок романовской породы в условиях Кузбасса // Зоотехния. – 2025. – № 3. – С. 31–34.
24. The Romanov breed of sheep in Siberia / O.I. Sebezshko, E.V. Kamaldinov, Y.I. Fedyaev [et al.] // Proceeding The 2nd World Conference on Sheep. – 2018. – P. 11–12.
25. Способ оценки убойного выхода у овец: пат. RU 2835518C₁ / Тарасенко Е.И., Короткевич О.С., Коновалова Т.В. [и др.]. Заявл. 04.11.2024; опубл. 26.02.2025. – Бюл. № 6. – 7 с.

REFERENCES

- Underwood E.J., Suttle N.F., The Mineral Nutrition of Livestock, 4th ed., CABI Publishing, 1999, 624 p.
- Kushnir A.V., Glazko V.I., Petukhov V.L., *Biologiya, genetika i selektsiya ovtsy* (Biology, genetics and selection of sheep), Novosibirsk: NSAU, 2010, 524 p.
- Klimanova E.A., Konovalova T.V., *Vestnik NSAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 2 (67), pp. 197–204. (In Russ.)
- Klimanova E.A., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., *Vestnik NSAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2024, No. 3 (72), pp. 196–204. (In Russ.)
- Klimanova E.A., Konovalova T.V., *Zootekhnika*, 2024, No. 6, pp. 4–8. (In Russ.)
- Klimanova E.A., Konovalova T.V., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2025, Vol. 55, No. 1 (314), pp. 76–83. (In Russ.)
- Konovalova T.V., Klimanova E.A., Nazarenko A.V., Tarasenko E.I., Sebezshko O.I., *Vestnik NSAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2025, No. 2 (75), pp. 192–199. (In Russ.)
- Tarasenko E.I., Klimanova E.A., Konovalova T.V., Nazarenko A.V., *Zootekhnika*, 2025, No. 7, pp. 12–16. (In Russ.)
- Mulsant P., Lecerf F., Fabre S. et al., Mutation in bone morphogenetic protein receptor-IB is associated with increased ovulation rate in Booroola Merino ewes, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2001, No. 9 (98), pp. 5104–5109, DOI: 10.1073/pnas.091577598.
- McNatty K.P., Juengel J.L., Wilson T. et al., Genetic mutations influencing ovulation rate in sheep, *Reprod. Fertil. Dev.*, 2001, Vol. 13, No. 7–8, pp. 549–555, DOI: 10.1071/RD01073.
- Chu M.X., Liu Z.H., Jiao C.L. et al., Mutations in BMPR-IB and BMP-15 genes are associated with litter size in Small Tailed Han sheep, *J. Anim. Sci.*, 2007, Vol. 85, pp. 598–603, DOI: 10.2527/jas.2006-324.
- Chu M., Jia L., Zhang Y. et al., Polymorphisms of coding region of BMPR-IB gene and their relationship with litter size in sheep, *Molecular Biology Reports*, 2010, Vol. 38 (6), pp. 4071–6, DOI: 10.1007/s11033-010-0526-z.
- Heaton M.P., Smith T.P.L., Freking B.A. et al., Using sheep genomes from diverse U.S. breeds to identify missense variants in genes affecting fecundity, *F1000Research*, 2017, Vol. 6, p. 1303, DOI: 10.12688/f1000research.12216.1.
- Yang Z., Yang X., Liu G. et al., Polymorphisms in BMPR-IB gene and their association with litter size trait in Chinese Hu sheep, *Animal Biotechnology*, 2020, Vol. 33 (2), pp. 250–259, DOI: 10.1080/10495398.2020.1789158.
- Jia J., Jin J., Chen Q. et al., Eukaryotic expression, Co-IP and MS identify BMPR-IB protein-protein interaction network, *Biological Research*, 2020, Vol. 53 (1), pp. 24, DOI: 10.1186/s40659-020-00290-7.
- Konovalova T.V., Donchenko A.S., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2024, Vol. 54, No. 12 (313), pp. 99–108. (In Russ.)
- Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevki A.S., Petukhov V.L., Sebezshko O.I., Ecological and biochemical evaluation of elements content in soil and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 4, pp. 368–374.
- Klimanova E.A., Konovalova T.V., Kochnev N.N., *Zootekhnika*, 2024, No. 1, pp. 15–17. (In Russ.)
- Klimanova E.A., Konovalova T.V., Sebezshko O.I., *Vestnik NSAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2025, No. 2 (75), pp. 186–191. (In Russ.)
- Dinno A. dunn.test: Dunn's Test of Multiple Comparisons Using Rank Sums, R package version 1.3.5, 2017, available at: <https://CRAN.R-project.org/package=dunn.test> (May 19, 2025).
- R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021, available at: <https://www.R-project.org/> (May 19, 2025).
- Pearce D., Soundararajan R., Trimper C. et al., Collecting Duct Principal Cell Transport Processes and Their Regulation, *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 2015, Vol. 10, No. 1, pp. 135–146, DOI: 10.2215/CJN.05760513.
- Morozov I.N., Sebezshko O.I., *Zootekhnika*, 2025, No. 3, pp. 31–34. (In Russ.)
- Sebezshko O.I., Kamaldinov E.V., Fedyaev Y.I., Shishin N.I., Li W., Liu M., Saurbaeva R.T., Andreeva V.A., Guseva A.P., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Narozhnykh K.N., Osadchuk L.V., Proceeding The 2nd World Conference on Sheep, 2018, pp. 11–12.
- Tarasenko E.I., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Petukhov V.L., Sebezshko O.I., Zaiko O.A., Kochnev N.N., *Patent na izobretenie* RU 2835518 C1, 2025, Byul. No. 6, 7 p. (In Russ.)

Информация об авторах:

Т.В. Коновалова, старший преподаватель

Е.А. Климанова, научный сотрудник

Е.И. Тарасенко, заведующая лабораторией

О.И. Себежко, кандидат биологических наук, доцент

О.С. Короткевич, доктор биологических наук, профессор

В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор
И.В. Моружи, доктор биологических наук, профессор
Е.В. Пищенко, доктор биологических наук, профессор
В.Г. Маренков, кандидат биологических наук, доцент

Contribution of the authors:

T.V. Konovalova, Senior Lecturer
E.A. Klimanova, Research Associate
E.I. Tarasenko, Head of the Laboratory
O.I. Sebezsko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
O.S. Korotkevich, Doctor of Biological Sciences, Professor
V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor
I.V. Moruzi, Doctor of Biological Sciences, Professor
E.V. Pishchenko, Doctor of Biological Sciences, Professor
V.G. Marenkov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

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

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИИ ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ПИХТЫ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ИММУННОГО СТАТУСА ТЕЛЯТ

А.С. Красноперов, О.Ю. Опарина, С.В. Малков, А.И. Белоусов, А.Е. Черницкий, И.Ю. Вершинина

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

E-mail: marafon.86@list.ru

Для цитирования: Применение композиции экстрактивных веществ древесной зелени пихты для коррекции иммунного статуса телят / А.С. Красноперов, О.Ю. Опарина, С.В. Малков, А.И. Белоусов, А.Е. Черницкий, И.Ю. Вершинина // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет) – 2025. – № 4 (77). – С. 170–176. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-170-176.

Ключевые слова: композиция экстрактивных веществ древесной зелени пихты, иммунный статус, Т-лимфоциты, В-лимфоциты, нейтрофилы, фагоцитоз, коррекция иммунитета, телята.

Реферат. В статье представлены данные по изучению влияния композиции экстрактивных веществ древесной зелени пихты на иммунологический статус телят неонатального периода. В ходе работы оценивали действие композиции на основные гематологические и иммунологические параметры крови особей контрольной и опытной групп. Показатели крови животных в течение экспериментального периода оставались в пределах нормативных значений. Было зарегистрировано, что содержание эритроцитов, гемоглобина, гематокрита, лейкоцитов, лимфоцитов и тромбоцитов за весь период исследования имело незначительную вариативность. Лейкоциты у телят опытной группы к концу исследования были на уровне $9,20 \pm 0,64 \cdot 10^9/\text{л}$, что в 1,2 раза выше, чем в контрольной, где за время эксперимента этот показатель имел тенденцию к незначительному снижению. Относительное и абсолютное количество лимфоцитов имело более выраженное повышение у животных опытной группы. Содержание Т-лимфоцитов в крови опытных телят было на стабильном уровне, тогда как в контроле динамика изменений этого показателя в разные периоды исследования была более выражена. Абсолютное значение В-лимфоцитов в течение исследовательского периода возрастало в опыте с $0,82 \pm 0,22 \cdot 10^9/\text{л}$ до $2,05 \pm 0,30 \cdot 10^9/\text{л}$ (в 2,5 раза). В системе фагоцитоза у животных опытной группы к концу эксперимента наблюдали повышение поглотительной способности фагоцитов в 1,2 раза по сравнению с первым днем жизни, в отличие от контрольной группы, где такая закономерность не была выявлена.

Статья опубликована в рамках выполнения темы НИР 0532-2021-0009 государственного задания ФГБНУ УрФАНИИЦ УрО РАН.

APPLICATION OF A COMPOSITION OF EXTRACTIVE SUBSTANCES OF FIR WOOD GREENERY TO CORRECT THE IMMUNE STATUS OF CALVES

A.S. Krasnoperov, O.Yu. Oparina, S.V. Malkov, A.I. Belousov, A.E. Chernitsky, I.Yu. Vershinina

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Science, Yekaterinburg, Russia

E-mail: marafon.86@list.ru

Keywords: composition of extractive substances of fir wood greenery, immune status, T-lymphocytes, B-lymphocytes, neutrophils, phagocytosis, correction of immunity, calves.

Abstract. The data on the effect of the fir wood greenery extractive substances composition on the immunological status of neonatal calves are presented in the article. The effect of the composition on the main hematological and immunological blood parameters of individuals in the control and experimental groups was assessed. The blood parameters of animals remained within the normal values during the experimental period. It was recorded that the content of erythrocytes, hemoglobin, hematocrit, leukocytes, lymphocytes and platelets had insignificant variability over the entire study period. Leukocytes in calves of the experimental group by the end of the study were at the level of $9.20 \pm 0.64 \cdot 10^9/\text{l}$, which is 1.2 times higher than in the control, where this indicator tended to slightly decrease during the experiment. The relative and absolute number of lymphocytes had a more pronounced increase in animals of the experimental group. The content of T-lymphocytes in the blood of experimental calves

was at a stable level, whereas in the control group the dynamics of changes in this indicator in different periods of the study was more pronounced. The absolute value of B-lymphocytes during the study period increased in the experiment from $0.82 \pm 0.22 \cdot 10^9/l$ to $2.05 \pm 0.30 \cdot 10^9/l$ (2.5 times). In animals of the experimental group, by the end of the experiment, an increase in the absorption capacity of phagocytes by 1.2 times was observed in the phagocytosis system compared to the first day of life, in contrast to the control group, where such a pattern was not revealed.

Выращивание здорового молодняка, способного адаптироваться к неблагоприятным условиям окружающей среды и в дальнейшем максимально реализовать свой генетический потенциал, продолжает оставаться приоритетной задачей отрасли животноводства [1–3].

В последние годы в связи с активным развитием животноводческой отрасли наблюдается высокий процент новорожденных телят, восприимчивых к заболеваниям за счет снижения иммунологической защиты организма, что в первую очередь проявляется отставанием в росте и развитии [4–7]. У телят в неонатальный период формирование колострального иммунитета происходит при употреблении молозива в первые два часа после рождения [1, 8]. Следовательно, несоблюдение правил выпойки молозива, являющегося источником иммунологически активных защитных белков, может приводить к тому, что телята при рождении имеют недостаточно развитые защитные механизмы. В связи с чем необходимо внедрять экономически обоснованные и эффективные способы поддержания иммунной системы.

Для стимуляции иммуногенеза новорожденных животных и активизации постнатальной адаптации с целью снижения вероятности заболевания рекомендуется использование коррекционных биологически активных кормовых добавок, которые включают пребиотики, пробиотики, витамины, а также макро- и микроэлементы [1, 9–11].

Особое внимание следует уделять средствам природного происхождения, которые содержат высокоактивные биологические компоненты. Например, композиция экстрактивных веществ древесной зелени пихты, получаемая в результате переработки пихтовой хвои (композиция ЭВДЗП, ООО «НТП Института химии КНЦ УрО РАН», Россия). Композиция отличается высоким содержанием эфирных масел, тритерпеновых кислот, биодоступных флавоноидов и полипrenoлов, обладающих заметными иммуномодулирующими и противовирусными свойствами [12–14].

Цель исследования – изучить влияние применения композиции экстрактивных веществ древесной зелени пихты (КЭВДЗП) на иммунологический статус телят неонатального периода.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены на базе отдела экологии и незаразной патологии животных Уральского научно-исследовательского ветеринарного института – структурного подразделения ФГБНУ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН (УрФАНИЦ УрО РАН) в рамках государственного задания в соответствии с Программой ФНИ государственных академий наук по направлению 4.2.1.5 «Разработка технологий прижизненного управления качеством животноводческого сырья для получения высококачественных и безопасных продуктов питания».

Объектом исследования являлись новорожденные телята голштинской породы, содержащиеся в одном из сельскохозяйственных предприятий Свердловской области. Для проведения эксперимента были сформированы две группы клинически здоровых животных по пять голов в каждой. Особям опытной группы в течение 28 дней ежедневно в индивидуальном порядке выпаивали композицию ЭВДЗП в объеме 5 мл на голову, предварительно разбавив ее молоком или заменителем цельного молока (ЗЦМ) в пропорции 1 : 10. Телята контрольной группы исследуемую композицию не получали. Животных содержали в клетках на соломенной подстилке, выпаивали им молозиво (затем молоко) в первые две недели жизни три раза в день, с 15-го дня – два раза (утром и вечером) из расчета 1,2–1,3 л на 10 кг массы тела. Введение концентрированных кормов в рацион начинали с седьмого дня. Проведение диспансеризации осуществляли по методике, разработанной И.П. Кондрахиным (2008) [15]. Кровь для исследований отбирали у телят на 1-, 7-, 14-, 21- и 28-й день жизни из яремной вены перед утренним кормлением с помощью вакуумных пробирок, содержащих в своем составе динатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты в качестве антикоагулянта.

Морфологический состав крови определяли на анализаторе Abacus Junior Vet (Diatron, Австрия), применяя стандартные реактивы (Diatron, Австрия); лейкоцитарную формулу подсчитывали в мазках крови, окрашенных по Романовскому–Гимза (300 клеток на мазок) на микроскопе Olympus BX 43 (Olympus, Япония). Иммуноло-

гические исследования крови включали определение относительного и абсолютного содержания Т- и В-лимфоцитов, фагоцитарной активности (ФА) и фагоцитарного индекса (ФИ) нейтрофилов и моноцитов по методике П.Н. Смирнова с соавторами (2007) [16]. Учет реакций проводили на бинокулярном микроскопе Olympus BX 43 (Olympus, Япония).

Цифровые данные исследований были проанализированы с использованием статистических методов и специального программного обеспечения Microsoft Office, включая приложения Excel (Microsoft, США) и Statistica 10.0 (Stat Soft Inc., США). При этом были рассчитаны среднеарифметические значения и стандартное отклонение. Результаты представлены в формате: среднее (M) и стандартное отклонение (SD). Достоверность различий между независимыми выборками (опытной и контрольной) оценивали с помощью непараметрического аналога t -теста U -критерия Манна – Уитни, используемого для сравнения малых выборочных групп без допущения о нормальном распределении данных. Отмечали все значимые различия. Критический уровень значимости принимался равным 5 % (различия статистически значимы при $p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В течение экспериментального периода показатели крови телят в контрольной и опытной группах оставались в пределах референтных значений (табл. 1). Изменения концентрации гемоглобина, уровень гематокрита, эритроцитов, лейкоцитов, лимфоцитов и тромбоцитов на 7-, 14-, 21- и 28-й дни у животных после рождения демонстрировали незначительную вариативность и не превышали установленные нормы.

В опытной группе животных отмечали динамические изменения клеточного состава периферической крови. Так, содержание тромбоцитов в опытной группе на 7-е сут уменьшилось на 11,86 % по сравнению с контрольной ($p < 0,05$), хотя затем возросло к 14-м сут и даже увеличилось на 21-е сут на 20,51 % и на 28-е сут на 36,11 % по сравнению с контролем ($p < 0,05$). Также в опытной группе было отмечено увеличение содержания лейкоцитов на 7-е сут на 33,89 % ($p < 0,05$), на 21-е сут на 19,03 % ($p < 0,05$) и на 28-е сут на 17,83 % ($p < 0,05$). Результаты сравнения содержания эритроцитов, гемоглобина и гематокрита в течение 28 сут между опытной и контрольной группами не показали достоверных различий (см. табл. 1).

Таблица 1

Динамика изменения гематологических показателей телят первого месяца жизни при применении композиции из экстрактивных веществ древесной зелени пихты
Dynamics of changes in hematological parameters of calves in the first month of life when using a composition of extractive substances of fir wood greenery

Группа		Эритроциты, 10 ¹² /л (5,0-10 ¹)	Гемоглобин, г/л (80-115 ¹)	Тромбоциты, 10 ⁹ /л (100-800 ¹)	Лейкоциты, 10 ⁹ /л (4-12 ¹)	Гематокрит, % (24-46 ¹)
Опытная	1-й день	8,12±1,24	92,75±9,00	350,40±76,87	7,77±0,58	29,89±6,52
	7-й день	8,98±1,47	93,40±10,32	714,25±51,70 ²	12,01±2,1 ²	30,71±6,78
	14-й день	8,39±1,19	85,50±9,87	801,67±89,76	8,64±1,26	24,47±1,48
	21-й день	7,83±0,52	85,00±15,62	672,00±42,81 ²	9,72±0,72 ²	29,39±7,29
	28-й день	8,63±1,14	89,00±13,89	797,67±85,19 ²	9,20±0,6 ⁴ 2	28,25±4,00
Контрольная	1-й день	7,06±0,80	84,67±6,66	369,00±77,65	9,45±2,00	26,88±3,55
	7-й день	8,00±1,49	85,00±16,85	810,50±50,44	7,94±1,66	27,91±5,07
	14-й день	7,57±0,88	78,20±9,55	746,80±62,04	8,43±1,78	24,86±3,22
	21-й день	7,87±0,92	79,25±10,14	534,20±48,67	7,87±1,86	25,05±4,02
	28-й день	8,72±1,12	88,33±10,21	509,60±75,09	7,56±2,04	27,03±4,31

Примечания: * 1. Норма гематологических показателей приведена по учеб. пособию «Гематология» (авт. О.Н. Полозюк, Т.М. Ушакова; Персиановский, 2019. – 159 с.

2. Отмечены различия между опытными и контрольной группами по U -критерию Манна–Уитни ($p < 0,05$).

Динамическое наблюдение за содержанием лимфоцитов и его типами (Т- и В-лимфоцитами) периферической крови в опытной и контрольной группе позволило отметить тенденции изменения

адаптивного иммунитета под действием композиции ЭВДЗП (табл. 2). Так, абсолютное содержание лимфоцитов на 21-е сут в опытной группе по сравнению с контрольной было выше на 26,22 %

($p < 0,05$). Примечательно, что соотношение Т- и В-лимфоцитов в опытной группе менялось в течение эксперимента. На 7-е сут относительное содержание В-лимфоцитов в опытной группе по сравнению с контрольной было ниже на 23,86 % ($p < 0,05$), а на 14-е сут относительное содержание Т-лимфоцитов в опытной группе было ниже, чем в контрольной на 8,55 % ($p < 0,05$). Тем не менее в абсолютных значениях наблюдалась противоположная динамика изменения Т- и В-лимфоцитов. Так, в опытной группе по сравнению с контрольной отмечена тенденция возрастания абсолютного числа Т-лимфоцитов на 32,85 % к 7-м сут, на 47,50 % к 21-м сут и на 43,88 % к 28-м суткам ($p < 0,05$). Вместе с этим в опытной группе по сравнению с контрольной отмечена тенденция

возрастания абсолютного числа В-лимфоцитов на 42,87 % к 21-м сут и на 47,32 % к 28-м сут ($p < 0,05$). Результаты сравнения содержания фагоцитарного индекса и фагоцитарной активности в течение 28 сут между опытной и контрольной группами не показали достоверных различий. Таким образом, выявленные изменения указывают на стимулирующее действие композиции ЭВДЗП на пролиферацию как Т-, так и В-лимфоцитов, что проявляется в устойчивом росте их абсолютного количества к концу наблюдения. При этом колебания относительных показателей субпопуляций лимфоцитов могут отражать перераспределение иммунных клеток в ходе формирования адаптивного иммунного ответа.

Таблица 2

Динамика иммунологических показателей телят первого месяца жизни при применении композиции из ЭВДЗП

Dynamics of immunological parameters of calves in the first month of life when using a composition of extractive substances of fir wood greenery

Показатель	Группа	1-й день	7-й день	14-й день	21-й день	28-й день
Лимфоциты, $10^9/\text{л}$	Опытная	3,10±0,65	4,29±0,97	4,22±0,73	5,34±0,6 ⁵ #	4,94±1,65
	Контрольная	3,22±0,72	3,45±1,11	3,96±1,21	3,94±1,00	4,27±1,19
Лимфоциты, %	Опытная	37,50±4,80 [#]	43,98±8,46	47,75±10,53	54,33±10,02	56,00±18,03
	Контрольная	46,60±5,55	51,40±13,61	54,40±12,42	57,55±15,37	67,50±3,79
Фаг. активность, %	Опытная	52,00±4,30	50,40±4,39	50,00±10,15	52,25±5,74	52,67±9,61
	Контрольная	53,40±3,44	50,75±2,50	51,00±5,66	53,20±4,15	52,50±5,57
Фаг. индекс, у.е.	Опытная	5,30±0,75	5,66±0,54	4,95±0,86	5,97±0,97	6,40±0,27
	Контрольная	5,82±0,99	5,22±0,65	5,04±0,73	6,18±0,55	6,30±1,18
Т-лимфоциты, %	Опытная	54,80±9,34	48,80±4,66	49,75±6,34 [#]	54,50±6,14	50,00±6,32
	Контрольная	45,80±8,61	47,40±8,73	54,40±3,65	49,60±4,77	53,40±7,96
В-лимфоциты, %	Опытная	32,40±5,08	26,80±1,79 [#]	28,50±8,43	34,50±1,73	32,33±6,50
	Контрольная	27,20±6,46	35,20±4,66	29,80±4,15	36,00±7,68	25,75±4,79
Т-лимфоциты, $10^9/\text{л}$	Опытная	1,40±0,39 [#]	2,74±0,55 [#]	2,37±0,34	3,20±0,18 [#]	4,17±0,2 ⁹ #
	Контрольная	2,12±0,52	1,84±0,47	2,30±0,64	1,68±0,22	2,34±0,19
В-лимфоциты, $10^9/\text{л}$	Опытная	0,82±0,22 [#]	1,50±0,27	1,32±0,26	2,10±0,20 [#]	2,05±0,30 [#]
	Контрольная	1,22±0,17	1,36±0,26	1,26±0,40	1,20±0,24	1,08±0,38

Примечание. # – отмечены различия между опытными и контрольной группами по U-критерию Манна–Уитни ($p < 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В проведенном нами исследовании у телят опытной и контрольной групп концентрация гемоглобина, уровень гематокрита, эритроцитов, лейкоцитов, лимфоцитов и тромбоцитов во все периоды исследования соответствовали референтным значениям, что свидетельствовало о

нормализации процессов гемопоэза и восстановления иммунобиологической реактивности у животных в исследуемый период.

Однако известно, что содержание клеток крови в первый месяц постнатального онтогенеза в основном зависит от особенностей внутриутробного развития и состояния организма матери, а также неразрывно связано с многоэтапным про-

цессом формирования различных типов клеток кроветворной системы в организме [2, 7, 17]. Проведенный нами анализ полученных данных показал наличие определенных различий в синтезе пулов клеток крови обеих групп животных. Более существенные изменения фиксировали у телят с применением композиции ЭВДЗП. Было установлено, что ведение композиции обусловило более заметную тенденцию к повышению относительного и абсолютного количества лимфоцитов у опытных особей, что, вероятно, связано с ускорением становления кроветворной системы организма и активацией иммунной системы.

Иммунологический анализ крови показал, что у опытных телят было зарегистрировано преобладание абсолютной концентрации Т-лимфоцитов над таковой у интактных животных на 28-е сут исследования в 1,8 раза, что свидетельствовало о более раннем становлении у них клеточного звена иммунной системы, которое выполняет важную защитную функцию в организме молодняка. В-лимфоциты являются ключевым звеном гуморального иммунитета, который играет важную роль в борьбе с инфекциями и другими патогенами. Относительное количество В-лимфоцитов в крови суточных телят опытной и контрольной групп соответствовало референтному интервалу и подтверждало отсутствие В-иммунодефицита пренатального происхождения. Зарегистрированная динамика этого показателя у опытных особей указывала на эффективное стимулирование гуморального звена иммунитета под влиянием ежедневного применения композиции ЭВДЗП.

Из вышеизложенного можно предположить, что динамика вариаций Т- и В-лимфоцитов в послеродовой период происходила при опосредованном воздействии изучаемой композиции и имела компенсаторно-восстановительный механизм, основанный на регуляции интенсивности биосинтетических процессов.

Согласно литературным данным, у телят в первые 2–3 месяца жизни гуморальный иммунитет функционально слабо развит, а неспецифическая резистентность уже имеет более сформированную физиологическую зрелость [8, 11]. Поэтому для объективной оценки иммунологического статуса животных раннего постнатального периода имеет место закономерное увеличение количества клеток крови, которые осуществляют фагоцитоз. К окончанию внутриутробного периода физиологично увеличивается количество лимфоцитов – клеток, регулирующих иммунный

ответ и продуцирующих гуморальные факторы защиты [8, 11].

Следовательно, в постнатальный период с развитием организма постепенно активизируются процессы фагоцитоза, что указывает на формирование естественной резистентности организма новорожденных телят. В рамках проведенных исследований у телят обеих групп изменение фагоцитарной активности в 14-му дню свидетельствовало об ослаблении поглотительной способности нейтрофилов. Однако у опытных особей к завершению эксперимента наблюдалось повышение ФИ, что можно расценивать как положительное воздействие испытуемой композиции, свидетельствующее о повышении устойчивости организма к негативным факторам и снижении риска развития воспалительных процессов.

ВЫВОДЫ

1. Гематологические и иммунологические показатели опытных и контрольных телят неонатального периода соответствовали нормативным данным, что свидетельствовало о нормализации в их организме гемопоэза и восстановлении иммунобиологической реактивности в течение первого месяца жизни.

2. Абсолютное содержание лимфоцитов в опытной группе телят к 21-м сут составляло $5,34 \pm 0,65$ 109/л, а в контрольной – $3,94 \pm 1,00$ 109/л и только к 28-м сут приблизилось к значению опыта и составило $4,27 \pm 1,19$ 109/л, против $4,94 \pm 1,65$ 109/л.

3. Абсолютное содержание Т-лимфоцитов у телят опытной группы к концу исследования составляло $4,17 \pm 0,29$ 109/л, что в 1,8 раза выше, чем в контрольной – $2,34 \pm 0,19$ 109/л.

4. Анализируя результаты изменения уровня абсолютных значений В-лимфоцитов в течение всего периода наблюдений, выявили существенное возрастание значений с $0,82 \pm 0,22$ 109/л до $2,05 \pm 0,30$ 109/л (в 2,5 раза) в опытной группе телят. В контроле показатель изменился с $1,22 \pm 0,17$ 109/л до $1,08 \pm 0,38$ 109/л.

5. За исследуемый период наблюдали постепенную активацию процессов фагоцитоза в большей степени в группе животных, получавших испытуемую композицию, обладающую иммуностимулирующими и антиоксическими свойствами. К концу эксперимента ФА в опытной группе составило $52,67 \pm 9,61$ %, а в контроле $52,50 \pm 5,57$ %.

6. Применение композиции экстрактивных веществ древесной зелени пихты способствовало ускорению завершения адаптационных процессов, связанных с формированием клеточного и

гуморального факторов неспецифической защиты организма, а также формированию естественной резистентности организма телят.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гундоров М.А., Петрова О.Ю., Пахмутов И.А. Адаптация новорожденных телят-гипотрофиков и ее фармакокоррекция // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2013. – № 2. – С. 143–148.
2. Клетикова Л.В., Мартынов А.Н., Шишкина Н.П. Физиологический статус новорожденных телят голштинской породы // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 8. – С. 68–75.
3. Воздействие экологических факторов на иммуногематологические показатели стельных коров / О.Ю. Опарина, Н.А. Верещак, С.В. Малков [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – № 6. – С. 59–62.
4. Бажинская А.А. Влияние кормов, загрязненных микотоксинами, на физиологическое состояние стельных коров и телят, полученных от них // Современный агропромышленный комплекс глазами молодых ученых: мат-лы науч.-образоват. шк. аспирантов Ассоциации аграрных вузов Центрального федерального округа России. – Орел, 2017. – С. 3–9.
5. Горелик О.В. Влияние возраста матерей на рост и развитие телок в молочный период // Главный зоотехник. – 2016. – № 11. – С. 41–46.
6. Требухов А.В. Особенности нарушения обмена у телят, рожденных от коров, больных кетозом // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 6. – С. 44–49.
7. Сафонов В.А., Ермилова Т.С., Черницкий А.Е. Гематологические маркеры внутриутробной задержки развития у новорожденных телят // Ветеринарный фармакологический вестник. – 2023. – № 4 (25). – С. 39–50.
8. Молозиво и пассивный иммунитет у новорожденных телят: обзор / Ю.Н. Федоров, В.И. Клюкина, О.А. Богомолова [и др.] // Российский ветеринарный журнал. – 2018. – № 6. – С. 20–24.
9. Гадзаонов Р.Х., Пухаева И.В. Использование пробиотика в профилактике диспепсии у новорожденных телят // Ветеринария сельскохозяйственных животных. – 2018. – № 6. – С. 36–41.
10. Прогнозирование уровня микроэлементного питания плода у глубокостельных коров / В.А. Сафонов, Т.С. Ермилова, А.Е. Черницкий [и др.] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 283–316.
11. Growth Performance and Fecal Microbiota of Dairy Calves Supplemented with Autochthonous Lactic Acid Bacteria as Probiotics in Mexican Western Family Dairy Farming / J.M. Ruvalcaba-Gomez, F. Villaseñor-Gonzalez, M.A. Espinosa-Martinez [et al.] // Animals. – 2023. – 13 (18). – P. 2841.
12. Анализ состояния здоровья, молочной продуктивности и воспроизводства коров при использовании в рационах кормовой добавки на основе хвои / Т.В. Новикова, И.В. Бритвина, Е.А. Рыжакина [и др.] // Молочнохозяйственный вестник. – 2019. – № 1 (33). – С. 27–39.
13. Воробьев А.Л., Калачев А.А., Залесов С.В. Использование отходов лесозаготовок в качестве сырья для получения кормовых добавок // Леса России и хозяйство в них. – 2018. – № 3 (66). – С. 65–72.
14. Савин М.А. Оценка содержания полезных элементов в хвойно-витаминной кормовой добавке из экструдированной древесной зелени сосны // Discovery science research: сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конф. – Петрозаводск, 2020. – С. 118–122.
15. Кондрахин И.П. Методические указания по диспансеризации сельскохозяйственных животных. – Симферополь, 2008. – 30 с.
16. Панель наиболее информативных тестов для оценки резистентности животных: методические рекомендации / Сост. П.Н. Смирнов [и др.]. – Новосибирск, 2007. – 37 с.
17. Перелыгина Д.Ф., Щербакова И.В. Физические свойства крови и их связь с клиническими состояниями // Символ науки. – 2023. – № 12–2. – С. 155–161.

REFERENCES

1. Gundorov M.A., Petrova O.Yu., Pakhmutoy I.A., *Uchenye zapiski KGAVM im. N.E. Bauman*, 2013, No. 2, pp. 143–148. (In Russ).
2. Kletikova L.V., Martynov A.N., Shishkina N.P., *Vestnik KrasGAU*, 2019, No. 8, pp. 68–75. (In Russ).
3. Oparina O.Yu., Vereshchak N.A., Malkov S.V., Krasnoperov A.S., *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*, 2020, No. 6, pp. 59–62. (In Russ).
4. Bazhinskaya A.A., *Sovremenniy agropromyshlenniy kompleks glazami molodykh uchenykh* (Modern agro-industrial complex through the eyes of young scientists), Materials of the scientific and educational school of postgraduate

- students of the Association of agricultural universities of the Central Federal District of Russia, Orel, 2017, pp. 3–9. (In Russ).
5. Gorelik O.V., *Glavnyi zootekhnik*, 2016, No. 11, pp. 41–46. (In Russ).
 6. Trebukhov A.V., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 6, pp. 44–49. (In Russ).
 7. Safonov V.A., Ermilova T.S., Chernitskii A.E., *Veterinarnyi farmakologicheskii vestnik*, 2023, No. 4 (25), pp. 39–50. (In Russ).
 8. Fedorov Yu.N., Klyukina V.I., Bogomolova O.A., Romanenko M.N., *Rossiiskii veterinarnyi zhurnal*, 2018, No. 6, pp. 20–24. (In Russ).
 9. Gadzaonov R.Kh., Pukhaeva I.V., *Veterinariya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh*, 2018, No. 6, pp. 36–41. (In Russ).
 10. Safonov V.A., Ermilova T.S., Chernitskii A.E., Salimzade E.A.O., *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, T. 16. No. 3, pp. 283–316. (In Russ).
 11. Ruvalcaba-Gomez J.M., Villaseñor-Gonzalez F., Espinosa-Martinez M.A., *Animals*, 2023, No. 13 (18), pp. 2841.
 12. Novikova T.V., Britvina I.V., Ryzhakina E.A., Korotkii V.P., *Molochnokhozyaistvennyi vestnik*, 2019, No. 1(33), pp. 27–39. (In Russ).
 13. Vorob'ev A.L., Kalachev A.A., Zalesov S.V., *Lesa Rossii i khozyaistvo v nikh*, 2018, No. 3(66), pp. 65–72. (In Russ).
 14. Savin M.A., *Discovery science research*, Collection of articles of the VI International scientific and practical conference, Petrozavodsk, 2020, pp. 118–122. (In Russ).
 15. Kondrakhin I.P., *Metodicheskie ukazaniya po dispanserizatsii sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Methodological guidelines for the clinical examination of farm animals.), Simferopol', 2008, 30 p. (In Russ).
 16. Smirnov P.N., *Panel' naibolee informativnykh testov dlya otsenki rezistentnosti zhivotnykh: metodicheskie rekomendatsii* (Panel of the most informative tests for assessing animal resistance: methodological recommendations), Novosibirsk, 2007, 37 p. (In Russ).
 17. Pereygina D.F., *Simvol nauki*, 2023, No. 12–2, pp. 155–161. (In Russ).

Информация об авторах:

А.С. Красноперов, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник

О.Ю. Опарина, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник

С.В. Малков, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник

А.И. Белоусов, доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник

А.Е. Черницкий, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник

И.Ю. Вершинина, научный сотрудник

Contribution of the authors:

A.S. Krasnoperov, PhD in Veterinary Sciences, Senior Researcher

O.Yu. Oparina, PhD in Veterinary Sciences, Senior Researcher

S.V. Malkov, PhD in Veterinary Sciences, Senior Researcher

A.I. Belousov, Doctor of Veterinary Sciences, Leading Researcher

A.E. Chernitsky, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher

I.Yu. Vershinina, Researcher

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ОДНОНУКЛЕОТИДНЫЕ ПОЛИМОРФИЗМЫ В ГЕНЕ *FRY*, АССОЦИИРОВАННЫЕ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ МЯСНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ У ОВЕЦ ПОРОДЫ МАНЫЧСКИЙ МЕРИНОС

^{1,2}А.Ю. Криворучко, ¹А.А. Каниболоцкая, ^{1,2}Е.Ю. Сафарян, ¹О.Н. Криворучко, ^{1,2}Л.Н. Скорых

¹Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

²Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

E-mail: dorohin.2012@inbox.ru

Для цитирования: Однонуклеотидные полиморфизмы в гене *FRY*, ассоциированные с показателями мясной продуктивности у овец породы манычский меринос / А.Ю. Криворучко, А.А. Каниболоцкая, Е.Ю. Сафарян, О.Н. Криворучко, Л.Н. Скорых // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 177–186. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-177-186.

Ключевые слова: овцы, *Ovis aries*, однонуклеотидный полиморфизм, ген *FRY*, секвенирование, кластеризация, мясная продуктивность.

Реферат. Использование методов маркер-ассоциированной селекции у овец позволяет в короткий срок увеличить показатели мясной продуктивности. Для этого необходимо проводить генотипирование по полиморфизмам в различных генах, связанных с ростом и развитием мышечной ткани. Полногеномный поиск ассоциаций у овец позволил выявить ряд новых генов-кандидатов, одним из которых является *FRY*, кодирующий связанный с микротрубочками протеин. Проведенное исследование структуры гена *FRY* по результатам полногеномного секвенирования у овец породы манычский меринос выявило более 4800 полиморфизмов разного типа, большая часть из которых представлена однонуклеотидными заменами и внесена в международные базы данных. В результате анализа обнаружена достоверная связь между комплексным генотипом по полиморфизмам гена *FRY* и большинством оцениваемых нами прижизненных параметров мясной продуктивности, такими как живой вес и промеры тела. Анализ распределения полиморфизмов между группами изучаемых животных позволил выявить 21 однонуклеотидную замену, генотипы по которым достоверно отличались у животных с высокой и низкой мясной продуктивностью. Большинство из этих замен (19 SNP) располагались в интронах гена, два полиморфизма были обнаружены в экзонах. У животных с более высокими показателями встречались гомозиготные генотипы по распространенному аллелю выявленных замен. Особи с низкими показателями несли гетерозиготные и мутантные гомозиготные генотипы. Выявленные однонуклеотидные полиморфизмы могут быть использованы в качестве молекулярно-генетических маркеров при генотипировании с целью прогнозирования мясной продуктивности и проведении селекционной работы с овцами мериносовых пород.

SINGLE NUCLEOTIDE POLYMORPHISMS IN THE *FRY* GENE ASSOCIATED WITH MEAT PRODUCTIVITY IN MANYCH MERINO SHEEP BREED

^{1,2}A.YU. Krivoruchko, A.A. Kanibolotskaya, ^{1,2}E.Yu. Safaryan, O.N. Krivoruchko, ^{1,2}L.N. Skorykh

¹Federal State Budgetary Scientific Institution “North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center”, Mikhailovsk, Russia

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “North Caucasus Federal University”, Stavropol, Russia

Keywords: sheep, *Ovis aries*, single nucleotide polymorphism, *FRY* gene, sequencing, clustering, meat productivity.

Abstract. The use of marker-associated selection methods in sheep allows to increase meat productivity indices in a short period of time. This requires genotyping for polymorphisms in various genes associated with growth and development of muscle tissue. Whole-genome association searches in sheep have identified a number of new candidate genes, one of which is *FRY*, which encodes a microtubule-associated protein. The study of the *FRY* gene structure based on the results of full genomic sequencing in Manych Merino sheep revealed more than 4800 polymorphisms of different types, most of which are represented by single nucleotide substitutions and are included in international databases. A significant association was found between complex genotype by polymorphisms of the *FRY* gene and most of the estimated lifetime parameters of meat productivity, such as live weight and body

measurements. Analysis of the distribution of polymorphisms between the groups of studied animals allowed us to identify 21 single nucleotide substitutions, genotypes for which significantly differed in animals with high and low meat productivity. Most of these substitutions (19 SNPs) were located in introns of the gene, two polymorphisms were detected in exons. Animals with higher scores had homozygous genotypes for the common allele of the identified substitutions. Low performing individuals carried heterozygous and mutant homozygous genotypes. The identified single nucleotide polymorphisms can be used as molecular genetic markers in genotyping to predict meat productivity and in breeding work with merino sheep breeds.

Использование современных молекулярно-генетических методов для селекции сельскохозяйственных животных с целью повышения мясной продуктивности стало возможным благодаря большому количеству исследований генов, влияющих на развитие мышечной ткани. На сегодняшний день известно несколько генов, мутации в которых приводят к видимым фенотипическим изменениям у овец и других видов сельскохозяйственных животных [1]. К ним относятся гены миостатина [2], гормона роста [3], *MyOD1* [4], локус Каллипиги [5] и некоторые другие. Селекция по полиморфизмам в этих генах дает хорошие результаты по повышению выхода мяса. Однако в значительном количестве пород овец эти мутации могут либо вообще не встречаться, либо наоборот – быть закреплены в положительном гомозиготном варианте генотипа [6]. В таком случае использовать их в качестве молекулярных маркеров не представляется возможным. В связи с этим необходим поиск новых локусов генома, изменения в которых связаны с повышенными показателями мясной продуктивности у отдельных особей в породе.

Проведенный нами ранее полногеномный поиск ассоциаций однонуклеотидных полиморфизмов позволил выявить несколько локусов, замены в которых связаны с высокими показателями веса и размера тела у овец российских пород. Четыре полиморфизма: rs408317317, rs427646265, rs420098635 и rs398157763 показали достоверную связь с комплексным показателем мясной продуктивности у овец породы российский меринос. Они располагались на расстоянии от 35 470 до 138 113 пар нуклеотидов от гена *FRY*, что указывает на большую вероятность совместного наследования гена определенной структуры с обнаруженным SNP. На основании полученных результатов ген *FRY* определен в качестве потенциального гена-кандидата мясной продуктивности у овец [7].

Продуктом гена *FRY* (другое название – *Furry*) является большой по размеру белок с молекулярной массой приблизительно 330 кДа, слабо подверженный эволюционным изменениям и очень похожий у многих представителей животного царства. У млекопитающих было выявлено, что *FRY* (Microtubule Binding Protein), как участвующий в сборке микротрубочек протеин,

вовлечен во многие процессы внутриклеточной организации, в том числе в выравнивании хромосом при формировании веретена деления [8].

В ряде других исследований также установлена связь гена *FRY* с различными продуктивными признаками у сельскохозяйственных животных. Так, он описан в составе 17 предложенных генов-кандидатов, связанных с различными вариантами депонирования жира, морфологией хвоста (жирнохвостые овцы) и адаптационным потенциалом у местных пород овец в Эфиопии [9]. При сравнении пород овец рамбулье и суффолк с использованием полногеномного поиска ассоциаций два из достоверно значимых полиморфизмов (OAR10_29223007 и OAR10_29341212) располагались в области гена *FRY*. Авторами сделано предположение, что это связано как с особенностями породы из-за различного качества шерсти, так и выраженными отличиями в степени развития мышечной ткани [10]. В ходе изучения ассоциаций локусов генома с показателями темперамента у овец, связанными с пищевым поведением, энергетической активностью, влиянием на воспроизводительную функцию, суточные привесы, качество мяса и другие жизненно важные показатели, определено девять генов-кандидатов. Одним из них был ген *FRY*, с которым оказались связаны четыре маркера rs427220269, rs421383362, rs4098299992 и rs419116702 [11].

Выполненные исследования у иранских овец по поиску локусов генома, связанных с адаптацией к температуре и продуктивностью в жарких и холодных условиях, позволили предложить несколько генов-кандидатов. На хромосоме 10, где локализованы два гена *RXFP2* и *FRY*, идентифицированы локусы количественных признаков, связанные с мясной продуктивностью. В результате анализа данных выявлены локусы, ассоциированные с массой мышц в туше, процентным выходом мяса, количеством жира в туше [12]. Сравнение генетической архитектуры пород катадин, рамбулье и дорпер в США позволило обнаружить ряд генов, связанных с подписями селекции и обеспечивающих породные особенности у овец. Одним из генов, имевших существенное отличие в структуре у породы рамбулье по сравнению с двумя другими, стал ген *FRY*. В его локусе

обнаружено 5 полиморфизмов с неравновесным распределением, что подтверждает его возможную ассоциацию с различиями между породами, в том числе по размеру и весу животных [13].

При изучении подписей селекции, связанных с особенностями обмена меди у овец, достоверную связь показал регион на 10 хромосоме, который содержал гены *FRY* и *RXFP2*. Животные, имеющие полиморфизмы в этом локусе, отличались по уровню усвоения соединений меди из корма [14]. Исследования функции гена *FRY* у мышей показали, что особи с нормально экспрессируемым геном имели достоверно больший вес тела на 9–16-й неделях жизни по сравнению с мышами, у которых ген был нокаутирован. Установлено, что такая закономерность более выражена у самцов [15].

Несмотря на то, что локус гена *FRY* показал связь с различными признаками у животных в достаточно большом количестве исследований, поиск ассоциаций между полиморфизмами в структуре самого гена и показателями продуктивности не проводился. В связи с этим целью нашего исследования стало изучение строения гена *FRY* у овец выведенной в России породы маньчжский меринос с использованием результатов секвенирования нового поколения для выявления полиморфизмов, ассоциированных с прижизненными показателями мясной продуктивности и применимых в качестве молекулярно-генетических маркеров при селекции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на базе лабораторий Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства (ВНИИОК) – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» и Геномного центра Северо-Кавказского федерального университета.

Объектом исследования служили 30 баранчиков породы маньчжский меринос в возрасте 9 мес. из СПК им. Ленина Апанасенковского района Ставропольского края. Животных отбирали методом случайной выборки, они были клинически здоровыми и получали смешанный рацион.

Геномную ДНК выделяли из образцов крови, полученных из яремной вены в асептических условиях. Пробы крови отбирали в пробирки Vacutainer® со стабилизатором ЭДТА (Becton Dickinson International, США). ДНК выделяли из 0,1 мл крови с использованием набора для экстракции нуклеиновых кислот «МагноПрайм ВЕТ»

(НекстБио, Россия) согласно инструкции производителя. Концентрацию ДНК в растворе измеряли на флуориметре «Qubit 4.0» (Invitrogen/Life Technologies, США). Контроль качества (OD_{260/280}) проводили на спектрофотометре NanoDrop OneC (Thermo-Fisher Scientific, Inc., США).

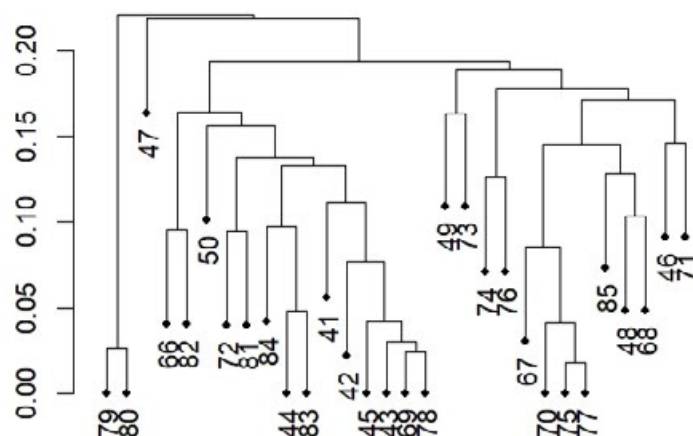
Секвенирование проводили с использованием геномного секвенатора NovaSeq 6000 (Illumina, Inc., США). Полученные в результате секвенирования фрагменты со средней длиной 153 нуклеотида картировали на референсный геном *Ovis aries*, сборка ARS-UI_Ramb_v2.0 NCBI (National Center for Biotechnology Information). Для описания обнаруженных однонуклеотидных замен использовалась номенклатура HGVS (Human Genome Variation Society). Кластеризация и графическая визуализация выполнялись в среде «R» с использованием пакета SNPRelate. Статистическую обработку выполняли с использованием *t*-критерия Стьюдента в Excel для Windows (Microsoft, США). Нормальность распределения для сравниваемых групп подтверждалась с использованием теста Шапиро–Уилка в надстройках Excel. Достоверными считали различия при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Секвенирование гена *FRY* у овец породы маньчжский меринос позволило выявить в его структуре более 4800 полиморфизмов различного типа – однонуклеотидных замен, инсерций и делеций. Большая часть из них располагалась в области интронов. После предварительной оценки структуры гена была выполнена фильтрация данных, в результате которой оставлены для дальнейшего исследования только однонуклеотидные полиморфизмы. Из них были также исключены SNP с частотой встречаемости минорного аллеля меньше 5 % (2105 замен). В результате для дальнейшей оценки использовался набор из 1977 однонуклеотидных полиморфизмов, расположенных по всей длине гена *FRY*. Большинство исследуемых нами полиморфизмов были ранее обнаружены у других пород овец и внесены в международную базу данных с присвоением уникального идентификатора.

Для выявления различий в структуре гена *FRY* по наличию однонуклеотидных полиморфизмов, выбранные для исследования бараны породы маньчжский меринос разделены на группы путем выполнения кластеризации вариантов гена на основе матрицы подобий (IBS). Графическое представление результатов кластеризации приведено на рисунке. На изображении указаны условные номера животных в выборке баранов породы маньчжский меринос.

Кластеризация на основе матрицы IBS



Кластеризация исследуемых животных по полиморфизму гена *FRY*
Clustering of the studied animals by polymorphism of *FRY* gene

В результате проведенной кластеризации обнаружено, что изучаемые животные на основе структуры гена образуют два крупных кластера третьего порядка. Из 30 обследованных животных 14 вошли в кластер, обозначенный нами как «кластер 1». Кластер 2 составили 13 особей. Три особи породы маньчский меринос с номерами 47, 79 и 80 не вошли ни в один из крупных кластеров и исключены из дальнейших исследований.

Проведенное исследование различий по прижизненным показателям мясной продуктивности между группами овец породы маньчский меринос, отобранными на основе кластеризации по генотипам гена *FRY*, показало достоверно положительный результат по большинству оцениваемых признаков (табл. 1).

Таблица 1

Промеры овец породы маньчский меринос с разными генотипами по гену *FRY*
по результатам кластеризации на основе матрицы IBS
Measurements of Manych Merino sheep with different genotypes on *FRY* gene according to the results
of clustering on the basis of IBS matrix

Показатель	Кластер 1, $n = 14$, $M \pm m$	C_v , %	Кластер 2, $n = 13$, $M \pm m$	C_v , %	p-value
Живой вес, кг	$53,77 \pm 2,30$	15,45	$46,31 \pm 2,28^*$	17,00	0,0247
Высота в холке, см	$65,21 \pm 0,47$	2,62	$63,17 \pm 0,23^{***}$	1,23	0,0006
Высота в крестце, см	$67,30 \pm 0,53$	2,83	$65,26 \pm 0,40^{**}$	2,15	0,0041
Ширина груди, см	$24,17 \pm 0,20$	2,96	$22,92 \pm 0,21^{***}$	3,13	0,0001
Глубина груди, см	$29,35 \pm 0,41$	5,05	$27,61 \pm 0,32^{**}$	4,04	0,0021
Ширина плеча, см	$22,64 \pm 0,35$	5,64	$20,92 \pm 0,19^{***}$	3,06	0,0002
Ширина зада, см	$15,96 \pm 0,25$	5,59	$15,19 \pm 0,20^*$	4,66	0,0204
Обхват груди, см	$93,96 \pm 1,30$	5,01	$89,27 \pm 1,26^*$	4,90	0,0128
Обхват пясти, см	$8,86 \pm 0,24$	9,76	$8,08 \pm 0,19^*$	7,93	0,0138
Обхват предплечья, см	$13,82 \pm 0,42$	11,00	$12,06 \pm 0,36^{**}$	10,20	0,0029
Обхват плеча, см	$23,64 \pm 0,52$	7,94	$21,75 \pm 0,36^{**}$	5,77	0,0053
Обхват бедра, см	$38,57 \pm 0,64$	6,04	$38,69 \pm 0,61$	5,44	0,8889
Косая длина туловища, см	$62,07 \pm 1,11$	6,47	$59,65 \pm 1,12$	6,49	0,1244

Примечание. Достоверность различий с данными животных из кластера 1 обозначена: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

Живой вес на момент исследования в обеих группах животных отличался наибольшим коэффициентом вариации по сравнению с другими показателями. Однако даже при этих условиях выделенные по кластерам гена *FRY* группы баранов имели достоверные отличия по изучаемому параметру. Средний вес у животных из первого кластера достоверно больше на 16 % по сравнению с особями из второго кластера. Высота в холке у овец из первого кластера превышала средние показатели второго кластера на 3 %, сам показатель имел низкие коэффициенты вариации, достаточно мало различаясь между особями внутри кластеров. Высота в крестце имела схожие характеристики вариации в выборках, первый кластер животных был достоверно выше в среднем на 3 %, чем второй. Вариабельность ширины груди отмечалась невысокой в обеих группах животных, но достоверно отличалась в большую сторону на 5 % у животных из первого кластера по гену *FRY*. Признак «глубина груди» показал низкие коэффициенты вариации в обеих исследованных группах животных, при этом особи второго кластера достоверно меньше на 6 %, чем более крупные бараны из кластера 1. Ширина плеча (т.е. мышцы плечевого пояса) у животных – носителей вариантов гена *FRY* из первого кластера достоверно больше на 8,3 %, чем у баранов с вариантом гена из второго кластера. В обеих группах признак показал низкий коэффициент вариации. Величина достоверных различий по ширине зада между животными из двух кластеров по гену *FRY* составила 5,7 %. При невысоких коэффициентах вариации в группах этот признак более выражен у животных в первом

кластере. Показатель обхвата груди превышал у животных первого кластера на 5,2 % параметры баранов из второго кластера. Признак имел небольшую вариабельность в обеих группах, коэффициенты вариации почти не отличались. Показатель «обхват пясти», как и «обхват предплечья», имел относительно более высокие коэффициенты вариации по сравнению с другими изучаемыми признаками. Но различия между животными из разных кластеров достоверны для обоих показателей. В этом исследовании обхват пясти больше в первом кластере на 11 %, а обхват предплечья на 14 % по сравнению с животными из второго кластера. Величина обхвата плеча была достоверно большей у животных из первого кластера на 8,9 %. При этом коэффициент вариации признака в полтора раза выше в первом кластере, чем во втором. Из всех исследованных прижизненных признаков мясной продуктивности достоверных различий не выявлено только для показателей обхвата бедра и косой длины туловища.

Для выявления полиморфизмов, которые наиболее полно характеризуют различия между структурами гена *FRY* в первом и втором кластерах, нами сначала был проведен сравнительный анализ частоты встречаемости генотипов, содержащих только дикий аллель, с генотипами, включающими мутантный аллель (табл. 2). То есть сравнивалась встречаемость между дикими гомозиготными вариантами генотипов и всеми остальными генотипами (суммарно гетерозиготными плюс мутантными гомозиготными). На втором этапе проводилось сравнение носителей мутантных гомозиготных генотипов с объединенной группой гетерозигот и диких гомозигот.

Таблица 2

Различия по встречаемости генотипов по отдельным полиморфизмам гена *FRY* у овец породы манычский меринос
Differences in the occurrence of genotypes for some polymorphisms of the *FRY* gene in Manych Merino sheep breed

Позиция в хромосоме	Наименование	Кластер 1 (n)			Кластер 2 (n)		
		Д/Д	Д/М	М/М	Д/Д	Д/М	М/М
1	2	3	4	5	6	7	8
29136208	rs407964065	14	–	–	–	13	–
29109090	rs426551920	14	–	–	–	13	–
29128470	rs416789470	14	–	–	–	13	–
29132069	rs405626233	14	–	–	–	13	–

1	2	3	4	5	6	7	8
29130024	rs160505942	14	–	–	–	13	–
29131588	rs421564034	14	–	–	–	13	–
29124811	rs415774438	14	–	–	–	13	–
29139982	rs423236405	14	–	–	–	12	1
29138510	rs162300308	14	–	–	–	12	1
29127082	rs422667591	14	–	–	–	12	1
29139913	rs423714968	14	–	–	–	12	1
29139485	rs429365061	14	–	–	–	12	1
29132103	rs423407371	14	–	–	–	12	1
29132081	rs414127954	14	–	–	–	12	1
29104327	rs428831550	14	–	–	–	13	–
29131507	rs399159433	14	–	–	–	12	1
29192295	rs408254816	14	–	–	–	11	2
29123993	rs423502711	14	–	–	–	11	2
29123992	rs414372519	14	–	–	–	11	2
29153590	rs406858203	14	–	–	–	10	3
29151254	rs401763380	14	–	–	–	10	3

Примечание. Д/Д – гомозиготный генотип по дикому аллелю; Д/М – гетерозиготный генотип; М/М – гомозиготный генотип по мутантному аллелю.

По результатам сравнения встречаемости диких гомозиготных генотипов у изучаемых животных в гене *FRY* с гетерозиготами и мутантными гомозиготами выявлен 21 полиморфизм, показавший достоверные различия. По всем этим заменам животные в первом кластере имели исключительно дикий гомозиготный генотип. Во втором кластере для восьми полиморфизмов выявлены исключительно гетерозиготные генотипы. Еще для восьми SNP, в дополнение к особям с гетерозиготными генотипами, встречалось по одному индивидууму с мутантным гомозиготным генотипом. Для трех замен во втором кластере обнаруживалось по два животных с генотипом мутантных гомозигот. Два полиморфизма во втором кластере имели по три носителя мутантного гомозиготного генотипа. Животные с мутантным гомозиготным генотипом по отдельным заменам при сравнении с особями, имеющими хотя бы гетерозиготный генотип, не имели достоверно значимого распределения по кластерам.

Все обнаруженные нами полиморфизмы, достоверно различающиеся по встречаемости

между первым и вторым кластерами по гену *FRY*, ранее обнаружены у других пород овец и имеют уникальное наименование в международной базе данных SNP. Их характеристика по расположению в гене, а также наименования референсного и мутантного аллелей приведены в табл. 3.

Среди обнаруженных нуклеотидных замен 19 располагались в интронах гена и только две находились в экзонах. Обе экзонные замены относились к синонимичному варианту и не приводили к образованию нового кодона с заменой аминокислоты в белковой молекуле. Так, замена с.2355 C>T сопровождалась появлением альтернативного кодона глицина, а замене с.3072 G>A соответствовал альтернативный кодон треонина. В окружающих ген 3' и 5' нетранслируемых областях гена *FRY*, зоне расположения промотера, а также фланкирующих ген регионах ДНК мы не выявили замен, отличающихся по встречаемости у животных с вариантами этого гена, относящихся к разным кластерам.

Таблица 3

Характеристика полиморфизмов с различной встречаемостью в первом и втором кластерах гена *FRY* у овец породы маньчский меринос
Characterization of polymorphisms with different occurrence in clusters 1 and 2 of *FRY* gene in sheep of Manych merino breed

Локализация в гене	Позиция в хромосоме	Наименование	Позиция в гене / замена	Аллели	
				Реф	Мут
Интрон	29136208	rs407964065	c.2694+256 A>G	T	C
	29109090	rs426551920	c.4378+28 G>A	C	T
	29128470	rs416789470	c.3356+343 C>A	G	T
	29132069	rs405626233	c.2782-1283 C>T	G	A
	29131588	rs421564034	c.2782-802 T>A	A	T
	29124811	rs415774438	c.3679+35 G>A	C	T
	29139982	rs423236405	c.2253-1370 T>C	A	G
	29127082	rs422667591	c.3357-393 C>G	G	C
	29139913	rs423714968	c.2253-1301 T>A	A	T
	29139485	rs429365061	c.2253-873 G>A	C	T
	29132103	rs423407371	c.2782-1317 G>C	C	G
	29132081	rs414127954	c.2782-1295 A>G	T	C
	29104327	rs428831550	c.4379-30 G>A	C	T
	29131507	rs399159433	c.4379-30 G>A	C	T
	29192295	rs408254816	c.685-1662 A>T	T	A
	29123993	rs423502711	c.3680-262 G>A	C	T
	29123992	rs414372519	c.3680-261 T>C	A	G
	29153590	rs406858203	c.2144+430 T>C	A	G
	29151254	rs401763380	c.2144+2766 G>A	C	T
Экзон	29138510	rs162300308	c.2355 C>T p.Gly785Gly	G	A
	29130024	rs160505942	c.3072 G>A p.Thr1024Thr	C	T

Примечание. Реф – референсный аллель; Мут – мутантный аллель.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Нами впервые было проведено исследование структуры перспективного гена-кандидата *FRY* по результатам секвенирования у овец выведенной в России породы маньчский меринос для выявления полиморфизмов, связанных с показателями мясной продуктивности. Для этого выполнена кластеризация животных на группы по результатам комплексной оценки выявленных в составе гена полиморфизмов. Оказалось, что большая часть исследуемых животных разделяется на два крупных кластера по генотипу гена *FRY*. Сравнение между собой особей из этих двух кластеров показало достоверные различия по большинству изученных показателей мясной продуктивности, т. е. структура гена связана с уровнем развития мышечной ткани у животных. Дальнейшее исследование позволило определить, какие именно полиморфизмы преобладают в каждом из двух

изучаемых кластеров, чтобы по результатам их генотипирования стало возможным прогнозировать мясную продуктивность животных.

Ген *FRY* неоднократно привлекал внимание исследователей при проведении полногеномного поиска ассоциаций с продуктивными признаками у овец различных пород. Однако его структура у этого вида сельскохозяйственных животных ранее не изучалась. Проведенное полногеномное секвенирование у овец породы маньчский меринос позволило достаточно полно изучить строение гена *FRY*. Несмотря на эволюционный консерватизм гена, мы обнаружили в нем несколько тысяч полиморфизмов, большинство из которых представлены однонуклеотидными заменами. Значительная их часть присутствовала у единичных особей и не влияла на изучаемые параметры мясной продуктивности.

Для выявления ассоциированных с исследуемыми фенотипическими признаками полимор-

физмов нами применен подход, заключающийся в кластеризации вариантов гена *FRY* на основе комплексного генотипа по всем структурным особенностям. Далее, в соответствии с выделенными кластерами животных разделили на группы и изучили различия в промерах тела между группами. Полученный результат продемонстрировал, что по некоторым показателям различия являются очень существенными. Так, живой вес, важнейший интегральный показатель мясной продуктивности, достоверно отличался между кластерами животных почти на 17 %. Остальные изученные параметры также показали достоверные различия, хотя и не так сильно выраженные, как живой вес. Причем разница в параметрах у овец с разными генотипами гена *FRY* была даже больше выражена, чем у животных с разными генотипами по известному гену мясной продуктивности – мио-статину [16]. Все это является подтверждением связи структуры гена *FRY* и фенотипа высокой мясной продуктивности у овец.

Принципиально важным для нашей работы стало обнаружение конкретных полиморфизмов, по которым отличаются варианты гена *FRY* из первого и второго кластеров. Путем фильтрации и сравнения частоты встречаемости отдельных замен на всем протяжении локуса генома, в котором расположен ген, мы выявили более двадцати полиморфизмов, аллели которых четко маркируют ген *FRY* у животных с высокой и более низкой мясной продуктивностью. Все они у животных первого кластера представлены в моноаллельном (распространенный аллель) гомозиготном варианте, а во втором кластере имеют преимущественно гетерозиготный генотип. Таким образом, мутантный аллель по выбранным заменам является достаточно высоко достоверным маркером животных из второго кластера.

Функциональный анализ расположения обнаруженных однонуклеотидных замен показал, что присутствовали полиморфизмы в белок-кодирующей области гена. Расположение двух замен в экзоне относилось к синонимичным вариантам, оно не приводило к изменениям кодона и кодируемой аминокислоты в составе белкового продукта. Поэтому связь этих полиморфизмов с фенотипическими признаками изучаемых животных могла быть реализована как минимум двумя путями. Изменение структуры экзона могло приводить к нарушениям конформации однонитевой ДНК в процессе расплетения во время транскрипции гена и влиять на интенсивность процесса считывания и синтеза матричной РНК. Однако более вероятен вариант с возможным совместным наследованием обнаруженных SNP с

каким-либо другим изменением структуры ДНК как в интроне, так и фланкирующим ген участке, который напрямую влияет на скорость и точность процесса транскрипции или сплайсинга в процессе созревания матричной РНК, что может отражаться на функциональных свойствах белка *FRY* и сопровождаться изменениями фенотипа, характеризующего мясную продуктивность овец. Так, влияние однонуклеотидных полиморфизмов, расположенных в интроне, на мясную продуктивность подтверждено при изучении структуры гена мио-статина у мериносовых овец в Польше [6].

Полученные данные о наличии в составе гена *FRY* однонуклеотидных полиморфизмов, генотипы по которым по-разному встречаются у животных, относящихся к первому и второму кластерам, позволяют считать их перспективными молекулярно-генетическими маркерами. Выявив наличие мутантного аллеля по нескольким из обнаруженных нами SNP, можно с высокой достоверностью сделать заключение, к какому из кластеров относится имеющийся у данной особи ген. Учитывая, что животные с вариантом гена *FRY* из разных кластеров показали достоверные различия по большинству изученных параметров фенотипа, характеризующего прижизненные параметры мясной продуктивности у овец, набор из нескольких полиморфизмов позволит выявлять генотипы, связанные с высоким выходом баранины. Проведение этого исследования на ранних этапах развития ягненка позволяет отбирать для откорма и племенной работы наиболее перспективных животных, затраты корма на которых окупятся с большей экономической выгодой. Селекционная работа по повышению мясной продуктивности, начиная с породы маньчжунский меринос, должна проводиться с учетом генотипов по гену *FRY* с целью закрепления у животных носительства положительно влияющих на рост и развитие мышечной ткани полиморфизмов в гомозиготном варианте и элиминации особей с присутствием в геноме мутантного аллеля.

ВЫВОДЫ

1. Проведенное исследование структуры гена *FRY* у овец породы маньчжунский меринос выявило более 4800 полиморфизмов разного типа, большая часть из которых внесена в международные базы данных. Обнаружена достоверная связь между комплексным генотипом по полиморфизмам гена *FRY* и большинством оцениваемых нами прижизненных параметров мясной продуктивности.

2. Анализ распределения полиморфизмов между группами изучаемых животных позволил выявить 21 однонуклеотидную замену, генотипы по

которым достоверно отличались у животных с высокой и низкой мясной продуктивностью. Большинство из этих замен располагались в интронах гена, два полиморфизма были обнаружены в экзонах.

3. Выявленные однонуклеотидные полиморфизмы могут быть использованы в качестве молекулярно-генетических маркеров при гено-

типировании с целью прогнозирования мясной продуктивности и проведении селекционной работы с овцами мериносовых пород.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 25-16-20051 от 14.04.2025 г. за счет средств Российского научного фонда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Polymorphism of Genes and Their Impact on Beef Quality* / P. Kostusiak, J. Ślósarz, M. Gołębiewski [et al.] // *Current Issues in Molecular Biology*. – 2023. – Vol. 45. – P. 4749–4762. – DOI: 10.3390/cimb45060302.
2. *Prihandini P.W., Hariyono D.N., Tribudi Y.A.* Association between GH, PRL, LEP, and PIT-1 gene polymorphisms and growth traits in Indonesian Rambon indigenous cattle // *Indonesian Bulletin of Animal and Veterinary Sciences*. – 2021. – Vol. 31, № 1. – P. 37–42. – DOI: 10.1007/s11250-025-04304-y.
3. *Sequencing of growth hormone gene for detection of polymorphisms and their relationship with body weight in Harri sheep* / T.S. Abdelmoneim, P.H. Brooks, M. Afifi, A.A.A. Swelum // *Indian Journal of Animal Research*. – 2017. – Vol. 51, № 2. – P. 205–211. – DOI: 10.18805/ijar.11457.
4. *Variants in myostatin and MyoD family genes are associated with meat quality traits in Santa Inês sheep* / L.P.B. Sousa-Junior, A.N. Meira, H.C. Azevedo [et al.] // *Animal Biotechnology*. – 2020. – P. 1–13. – DOI: 10.1080/10495398.2020.1781651.
5. *Genetic Variations of MSTN and Callipyge in Tibetan Sheep: Implications for Early Growth Traits* / K. Zhao, X. Li, D. Liu [et al.] // *Genes*. – 2024. – Vol. 15, № 7. – P. 921. – DOI: 10.3390/genes15070921.
6. *Grochowska E., Borys B., Mroczkowski S.* Effects of Intronic SNPs in the Myostatin Gene on Growth and Carcass Traits in Colored Polish Merino Sheep // *Genes*. – 2019. – Vol. 11, № 2. – P. 20–38. – DOI: 10.3390/genes11010002.
7. *Krivoruchko A.Y., Yatsyk O.A., Safaryan E.Y.* Candidate genes for productivity identified by genome-wide association study with indicators of class in the Russian meat merino sheep breed // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. – 2020. – Vol. 24, № 8. – P. 836–843. – DOI: 10.18699/VJ20.681.
8. *Nagai T., Mizuno K.* Multifaceted roles of Furry proteins in invertebrates and vertebrates // *The Journal of Biochemistry*. – 2014. – Vol. 155, № 3. – P. 137–146. – DOI: 10.1093/jb/mvu001.
9. *Frontiers in Genetics* / A. Ahbara, H. Bahbahani, F. Almathen [et al.]. – 2019. – Vol. 9. – P. 699. – DOI: 10.3389/fgene.2018.00699.
10. *Genome-Wide Variation, Candidate Regions and Genes Associated With Fat Deposition and Tail Morphology in Ethiopian Indigenous Sheep* / L. Zhang, M.R. Mousel, X. Wu [et al.] // *PLOS ONE*. – 2013. – Vol. 8, № 6. – P. e65942. – DOI: 10.1371/journal.pone.0065942.
11. *Identification of Candidate Genes and Pathways Linked to the Temperament Trait in Sheep* / E. Romaniuk, B. Vera, P. Peraza [et al.] // *Genes*. – 2024. – Vol. 15, № 2. – P. 229. – DOI: 10.3390/genes15020229.
12. *Whole-genome scan for selection signature associated with temperature adaptation in Iranian sheep breeds* / Z. Patiabadi, M. Razmkabir, A. Esmailizadeh Koshkoiyeh [et al.] // *PLOS ONE*. – 2024. – Vol. 19, № 8. – P. e0309023. – DOI: 10.1371/journal.pone.0309023.
13. *Genetic diversity of United States Rambouillet, Katahdin and Dorper sheep* / G.M. Becker, J.W. Thorne, J.M. Burke [et al.] // *Genetics Selection Evolution*. – 2024. – Vol. 56, № 56. – DOI: 10.1186/s12711-024-00905-7.
14. *Genome-wide comparative analyses for selection signatures indicate candidate genes for between-breed variability in copper accretion in sheep* / O.O. Adeniyi, J.A. Lenstra, S. Mastrangelo, G. Lühken // *Animal*. – 2024. – Vol. 18, № 10. – P. 101329. – DOI: 10.1016/j.animal.2024.101329.
15. *Fry Is Required for Mammary Gland Development During Pregnant Periods and Affects the Morphology and Growth of Breast Cancer Cells* / Y. Liu, X. Chen, Z. Gong [et al.] // *Frontiers in Oncology*. – 2019. – Vol. 9. – P. 1279. – DOI: 10.3389/fonc.2019.01279.
16. *Genetic variations in the Myostatin gene affecting growth traits in sheep* / N.M. Osman, H.I. Shafey, M.A. Abdelhafez [et al.] // *Veterinary World*. – 2021. – Vol. 14, № 2. – P. 475–482. – DOI: 10.14202/vetworld.2021.475-482.

REFERENCES

1. Kostusiak P., Ślósarz J., Gołębiewski M. et al., Polymorphism of Genes and Their Impact on Beef Quality, *Current Issues in Molecular Biology*, 2023, Vol. 45, pp. 4749–4762, DOI: 10.3390/cimb45060302.
2. Prihandini P.W., Hariyono D.N., Tribudi Y.A., Association between GH, PRL, LEP, and PIT-1 gene polymorphisms and growth traits in Indonesian Rambon indigenous cattle, *Indonesian Bulletin of Animal and Veterinary Sciences*, 2021, Vol. 31, No. 1, pp. 37–42, DOI: 10.1007/s11250-025-04304-y.
3. Abdelmoneim T.S., Brooks P.H., Afifi M., Swelum A.A.A., Sequencing of growth hormone gene for detection of polymorphisms and their relationship with body weight in Harri sheep, *Indian Journal of Animal Research*, 2017, Vol. 51, No. 2, pp. 205–211, DOI: 10.18805/ijar.11457.

4. Sousa-Junior L.P.B., Meira A.N., Azevedo H.C., Muniz E.N., Coutinho L.L., Mourão G.B. et al., Variants in myostatin and MyoD family genes are associated with meat quality traits in Santa Inês sheep, *Animal Biotechnology*, 2020, pp. 1–13, DOI: 10.1080/10495398.2020.1781651.
5. Zhao K., Li X., Liu D., Wang L., Pei Q., Han B. et al., Genetic Variations of MSTN and Callipyge in Tibetan Sheep: Implications for Early Growth Traits, *Genes*, 2024, Vol. 15, No. 7, pp. 921. DOI: 10.3390/genes15070921.
6. Grochowska E., Borys B., Mroczkowski S., Effects of Intronic SNPs in the Myostatin Gene on Growth and Carcass Traits in Colored Polish Merino Sheep. *Genes*, 2019, Vol. 11, No. 2, pp. 20–38, DOI: 10.3390/genes11010002.
7. Krivoruchko A.Y., Yatsyk O.A., Safaryan E.Y., Candidate genes for productivity identified by genome-wide association study with indicators of class in the Russian meat merino sheep breed, *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2020, Vol. 24, No. 8, pp. 836–843, DOI: 10.18699/VJ20.681.
8. Nagai T., Mizuno K., Multifaceted roles of Furry proteins in invertebrates and vertebrates, *The Journal of Biochemistry*, 2014, Vol. 155, No. 3, pp. 137–146, DOI: 10.1093/jb/mvu001.
9. Ahbara A., Bahbahani H., Almathen F., Al Abri M., Agoub M.O., Abeba A. et al., *Frontiers in Genetics*, 2019, Vol. 9, p. 699, DOI: 10.3389/fgene.2018.00699.
10. Zhang L., Mousel M.R., Wu X., Michal J.J., Zhou X., Ding B. et al., Genome-Wide Variation, Candidate Regions and Genes Associated With Fat Deposition and Tail Morphology in Ethiopian Indigenous Sheep, *PLOS ONE*, 2013, Vol. 8, No. 6, p. e65942, DOI: 10.1371/journal.pone.0065942.
11. Romaniuk E., Vera B., Peraza P., Ciappesoni G., Damián J.P., Van Lier E., Identification of Candidate Genes and Pathways Linked to the Temperament Trait in Sheep, *Genes*, 2024, Vol. 15, No. 2, p. 229, DOI: 10.3390/genes15020229.
12. Patiabadi Z., Razmkabir M., Esmailzadeh Koshkoiyeh A., Moradi M., Rashidi A., Mahmoudi P., Whole-genome scan for selection signature associated with temperature adaptation in Iranian sheep breeds, *PLOS ONE*, 2024, Vol. 19, No. 8, p. e0309023, DOI: 10.1371/journal.pone.0309023.
13. Becker G.M., Thorne J.W., Burke J.M. et al., Genetic diversity of United States Rambouillet, Katahdin and Dorper sheep, *Genetics Selection Evolution*, 2024, Vol. 56, No. 56, DOI: 10.1186/s12711-024-00905-7.
14. Adeniyi O.O., Lenstra J.A., Mastrangelo S., Lühken G., Genome-wide comparative analyses for selection signatures indicate candidate genes for between-breed variability in copper accretion in sheep, *Animal*, 2024, Vol. 18, No. 10, p. 101329, DOI: 10.1016/j.animal.2024.101329.
15. Liu Y., Chen X., Gong Z., Zhang H., Fei F., Tang X. et al., Fry Is Required for Mammary Gland Development During Pregnant Periods and Affects the Morphology and Growth of Breast Cancer Cells, *Frontiers in Oncology*, 2019, Vol. 9, p. 1279, DOI: 10.3389/fonc.2019.01279.
16. Osman N.M., Shafey H.I., Abdelhafez M.A., Sallam A.M., Mahrous K.F., Genetic variations in the Myostatin gene affecting growth traits in sheep, *Veterinary World*, 2021, Vol. 14, No. 2, pp. 475–482, DOI: 10.14202/vet-world.2021.475-482.

Информация об авторах:

А.Ю. Криворучко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве

А.А. Каниболоцкая, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве

Е.Ю. Сафарян, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве

О.Н. Криворучко, аспирант

Л.Н. Скорых, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве

Contribution of the authors:

A.Yu. Krivoruchko, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Genomic Selection and Reproductive Cryobiology in Animal Husbandry

A.A. Kanibolotskaya, PhD in Biology, Senior Researcher at the Laboratory of Genomic Selection and Reproductive Cryobiology in Animal Husbandry

E.Yu. Safaryan, PhD in Biology, Senior Researcher at the Laboratory of Genomic Selection and Reproductive Cryobiology in Animal Husbandry

O.N. Krivoruchko, graduate student

L.N. Skorykh, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Genomic Selection and Reproductive Cryobiology in Animal Husbandry

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ ВЫПАИВАНИЯ МЕТАБИОТИЧЕСКОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА РОСТ ТЕЛЯТ

¹Т.В. Куренинова, ¹И.А. Пушкарев, ²В.А. Мартынов, ³И.Ю. Евдокимов, ³А.Н. Иркитова, ³Д.Е. Дудник, ³М.В. Ширманов

¹Федеральный Алтайский научный центр агrobiотехнологий, Барнаул, Россия

²ООО «Бета-Трейд», Барнаул, Россия

³Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

E-mail: kureninova77@inbox.ru

Для цитирования: Влияние выпаивания метабитической кормовой добавки на рост телят / Т.В. Куренинова, И.А. Пушкарев, В.А. Мартынов, И.Ю. Евдокимов, А.Н. Иркитова, Д.Е. Дудник, М.В. Ширманов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 187–196. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-187-196.

Ключевые слова: телята, метабитическая кормовая добавка, живая масса, среднесуточный прирост, сохранность.

Реферат. Выпаивание телятам исследуемой метабитической кормовой добавки оказало положительное влияние на интенсивность роста. После введения в состав рациона метабитической кормовой добавки, содержащей в своем составе культуральные жидкости с метаболитами *Bacillus pumilus* B-13250 и *Kluyveromyces lactis* в соотношении 50 и 50 % от общего объема, к концу первого месяца выращивания телята опытной группы по живой массе превосходили своих сверстников из контрольной группы на 4,5 кг (7,2 %), что является статистически значимым результатом ($p < 0,05$). По окончании второго месяца выращивания разница по сравнению с контрольной группой составила 7,6 кг (9,3 %, $p < 0,05$), а в возрасте трех месяцев 15,2 кг, что больше на 14,7 % ($p < 0,001$). Среднесуточный прирост массы тела телят в период применения метабитического препарата (0–1 мес.) в опытной группе животных на 123,8 г (20,3 %) достоверно больше, чем в контроле ($p < 0,01$). С 1-го по 2-й месяцы выращивания среднесуточный прирост в опытной группе животных увеличился на 100,0 г (16,2 %, $p < 0,01$) относительно аналогичного значения в контрольной группе животных. В возрасте от двух до трех месяцев среднесуточный прирост также наблюдался у телят опытной группы – 995,2 г, что на 257,1 г (34,8 %) больше, чем в контроле ($p < 0,001$). Показатель сохранности телят в изучаемый период в контрольной группе животных составлял 90 %, в опытной группе 100 %. Различное соотношение метаболитов, продуцируемых пробиотической культурой *B. pumilus* и культурой дрожжей *K. Lactis*, оказали положительное влияние на количественный и качественный состав микрофлоры толстого отдела кишечника телят. Выявлено увеличение в толстом отделе кишечника общего количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов на 6,7 %, молочнокислых бактерий на 93,5 %, снижение количества бактерий группы кишечной палочки на 52,2 % и микроскопических грибов на 16,7 %.

EFFECT OF DRINKING A METABIOTIC FEED ADDITIVE ON THE GROWTH OF CALVES

¹T.V. Kureninova, ¹I.A. Pushkarev, ²V.A. Martynov, ³I.Yu. Evdokimov, ³A.N. Irkitova, ³D.E. Dudnik, ³M.V. Shirmanov

¹Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnology, Barnaul, Russia

²Beta-Trade LLC, Barnaul, Russia

³Altai State University, Barnaul, Russia

E-mail: kureninova77@inbox.ru

Keywords: calves, metabiotic feed additive, live weight, average daily gain, survivability.

Abstract. The administration of the investigated metabiotic feed additive to calves demonstrated a positive impact on growth performance. The inclusion of this additive into the diet, which comprised culture fluids with metabolites from *Bacillus pumilus* B-13250 and *Kluyveromyces lactis* in a 50:50 ratio, resulted in a statistically significant increase in the live weight of the experimental group compared to the control group. By the end of the

*first month, the experimental calves were heavier by 4.5 kg (7.2 %, $p < 0.05$). This difference increased to 7.6 kg (9.3 %, $p < 0.05$) at the end of the second month and reached 15.2 kg (14.7 %, $p < 0.001$) by three months of age. The average daily gain (ADG) during the initial application period (0–1 month) was significantly higher in the experimental group by 123.8 g (20.3 %, $p < 0.01$). From the first to the second month, the ADG remained significantly elevated by 100.0 g (16.2 %, $p < 0.01$), and between the second and third months, the ADG in the experimental group was 995.2 g, which exceeded the control by 257.1 g (34.8 %, $p < 0.001$). Furthermore, the calf survival rate was 100 % in the experimental group, compared to 90 % in the control group. The specific metabolite ratio from *B. pumilus* and *K. lactis* also positively modulated the gut microbiota in the large intestine, leading to a 6.7 % increase in mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms, a 93.5 % rise in lactic acid bacteria, alongside a 52.2 % reduction in coliform bacteria and a 16.7 % decrease in microscopic fungi.*

В современном молочном скотоводстве перед производителями стоит задача повышения продуктивности и здоровья поголовья. Ключевым аспектом достижения этих целей является оптимизация микрофлоры желудочно-кишечного тракта животных, в особенности молодняка. Ввиду этого все более широкое применение находят биологически активные кормовые добавки, направленные на поддержание и улучшение микробиоценоза кишечника телят [1].

Микроорганизмы, населяющие желудочно-кишечный тракт крупного рогатого скота, играют исключительно важную роль в обеспечении нормальной жизнедеятельности организма. Симбиотическая микрофлора молодняка является продуцентом ферментов, способствующих расщеплению питательных веществ корма, что определяет ее как ключевое звено в процессах метаболизма [2, 3].

Правильное формирование и баланс микрофлоры кишечника способствует не только эффективному пищеварению и усвоению питательных веществ, но и синтезу витаминов, детоксикации организма от вредных веществ, а также имеет значение для развития и созревания иммунной системы. Нормальная микрофлора стимулирует продукцию иммуноглобулинов, важных белков, обеспечивающих гуморальный иммунитет. Кроме того, она способствует созреванию и активации фагоцитирующих клеток. Лимфоидный аппарат кишечника – важная часть иммунной системы – также находится под сильным влиянием микрофлоры. В связи с этим поддержание функциональной активности симбиотической микрофлоры кишечника телят является необходимым условием при организации их выращивания [4].

В связи с этим в настоящее время все большее распространение в технологии выращивания молодняка крупного рогатого скота получают пробиотики – препараты, содержащие живые микроорганизмы, которые способствуют поддержанию и восстановлению здоровой микрофлоры. Однако следует понимать, что желудочно-кишеч-

ный тракт крупного рогатого скота – это сложная динамическая система, представляющая собой «проточный реактор», где постоянно происходит взаимодействие различных микроорганизмов между собой и с окружающей средой. Поэтому эффективность применения пробиотиков зависит от многих факторов, включая состав рациона, условия содержания животных, наличие стрессовых факторов и индивидуальных особенностей организма. Необходимо учитывать, что простое добавление пробиотиков в корм не всегда гарантирует желаемый результат. Поэтому необходимо проводить дальнейшие исследования, направленные на разработку и изучение более эффективных биологически активных кормовых добавок. К одним из таких добавок относятся метабиотики, которые содержат в своем составе метаболиты полезных пробиотических культур [5, 6].

Метабиотики являются структурными компонентами пробиотических микроорганизмов или их метаболитов, или сигнальных молекул с определенной химической структурой, которые способны оптимизировать специфичные для организма хозяина физиологические функции, регуляторные, метаболические или поведенческие реакции, связанные с деятельностью индигенной микробиоты организма-хозяина [7].

Метабиотики представляют собой альтернативу живым пробиотикам, обладая рядом важных преимуществ. Главное из них – отсутствие риска возможных негативных явлений, связанных с введением живых бактерий. Микрофлора каждого животного уникальна и универсальные пробиотические штаммы могут быть несовместимы с уже существующей микробиотой. В отличие от живых пробиотиков метабиотики действуют мгновенно после попадания в кишечник. Они устойчивы к агрессивной среде желудочно-кишечного тракта. Это гарантирует их эффективность в отличие от живых бактерий, которые могут частично инактивироваться до достижения места назначения и не оказать значительного влияния. Таким образом, метабиотики позволяют получить пользу от

действия бактериальных метаболитов (продуктов жизнедеятельности бактерий), не вводя самих живых микроорганизмов и избегая связанных с этим рисков [8].

Целью исследования явилось изучение влияния выпаивания метабиотической кормовой добавки на интенсивность роста телят.

Для достижения поставленной цели предусмотрено решение следующих задач:

1. Установить влияние метабиотической кормовой добавки на массу тела, интенсивность роста и сохранность телят.

2. Изучить микробиологический состав кишечной микрофлоры телят на фоне выпаивания метабиотика.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в производственных условиях СПК «Колхоз им. Кирова», Кытмановского района Алтайского края на телятах симментальской породы молочного периода выращивания.

Для проведения эксперимента сформировали две подопытные группы новорожденного молодняка по 10 голов в каждой, аналогов по массе тела ($45,2 \pm 1,58$ кг), возрасту (10 дней) и полу (3 бычка и 7 телочек в каждой подопытной группе). Подбор животных выполнялся по методике А.И. Овсянникова методом пар-аналогов [9].

Телята подопытных групп содержались в одинаковых условиях. Кормление животных в подопытных группах проводилось по схеме, принятой в хозяйстве, согласно детализированным нормам кормления крупного рогатого скота [10]. Телята в первые 5–7 дней получали молозиво, далее применялось цельное молоко. В контрольной группе животных скормливался основной рацион. Телятам в опытной группе с десятого дня выращивания в молоко, предназначенное для выпаивания, добавлялась метабиотическая кормовая добавка в дозе 20 мл/гол. Период введения метабиотической кормовой добавки в состав основного рациона составлял 30 дней.

Используемый для испытания метабиотик представлял собой однородную жидкость коричневого цвета, включающую надосадочные культуральные жидкости *B. pumilus* и *K. Lactis* после проведения циклов культивирования в ферментационных аппаратах в течение 24 ч каждого из штаммов. Общий объем опытной

партии готовой метабиотической добавки составлял 10 л из расчета 50 % *B. pumilus* (5,0 л) и 50% *K. Lactis* (5,0 л). Метабиотическая кормовая добавка изготовлена в инженеринговом центре (ИЦ) «Промбиотех» АлтГУ.

Для определения массы тела телят использовались данные ежемесячного индивидуального взвешивания. Взвешивание телят проводилось один раз в месяц утром до поения и кормления животных в возрасте десяти дней затем в 1-, 2- и 3-й месяцы выращивания.

На основании полученных данных по результатам взвешиваний рассчитали среднесуточный прирост массы тела.

Среднесуточный прирост массы тела рассчитан по формуле

$$B = \frac{W_1 - W_0}{t}$$

где B – среднесуточный прирост; W_1 – живая масса конечная; W_0 – живая масса начальная; t – продолжительность учетного периода, дн.

Сохранность молодняка определяли в процентах от количества рожденных живых телят.

Микробиологические исследования образцов кала проводились в ИЦ «Промбиотех» АлтГУ. Пробы кала отбирались индивидуально в стерильные полипропиленовые пробирки объемом 50 мл с завинчивающейся крышкой типа Falcon. Бралось по три образца из каждой подопытной группы животных. Отбор проб проводили дважды перед началом эксперимента и на 30-й день выпаивания метабиотического препарата. В пробах кала определялись следующие показатели: количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), общая численность молочнокислых бактерий, бактерии группы кишечной палочки (БГКП), микроскопические грибы, стафилококки, сальмонеллы, шигеллы. Микробиологический профиль определяли в последовательных разведениях с учетом числа выросших колоний. Микробиологический анализ образцов кала исследовали методом высева последовательных 10-кратных разведений на накопительные и дифференциально-диагностические среды. Для определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов использовали питательную среду КМАФАнМ (ФБУН ГНЦ ПМБ, г. Оболensk), культивирование вели при 30 °С в течение 72–96 ч. Культивирование и подсчет лактобактерий осуществляли на агаре-

зованной среде MRS (ФБУН ГНЦ ПМБ, г. Оболенск), культивирование – при 30 °С в течение 72 ч. Количество бактерий группы кишечных палочек определяли на питательной среде Эндо (ФБУН ГНЦ ПМБ, г. Оболенск), культивирование при 37 °С в течение 24 ч; микроскопические грибы – на среде Сабуро (ФБУН ГНЦ ПМБ, г. Оболенск), культивирование при 28 °С в течение 5–7 сут; стафилококки – на мясо-пептонном бульоне с 15 % NaCl, культивирование при 37 °С в течение 24 ч. Посевы производили глубинным способом (1,0 мл) или поверхностно (0,1 мл) с последующим подсчетом колониеобразующих единиц (КОЕ/г).

Биометрическая обработка данных, полученных при проведении эксперимента, осуществля-

лась при помощи программного пакета Microsoft Excel 2016, при этом рассчитывали среднеарифметическое значение M , среднеквадратическую ошибку $\pm m$ и критерий достоверности p . Достоверность результатов опыта по отношению к контрольной группе рассчитывалась по t -критерию Стьюдента для независимых выборок, статистически значимыми считались различия при $*p < 0,05$; $**p < 0,01$; $***p < 0,001$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Использование в молозивный и молочный периоды кормления телят метабиотической кормовой добавки оказало положительное влияние на их живую массу (рис. 1).

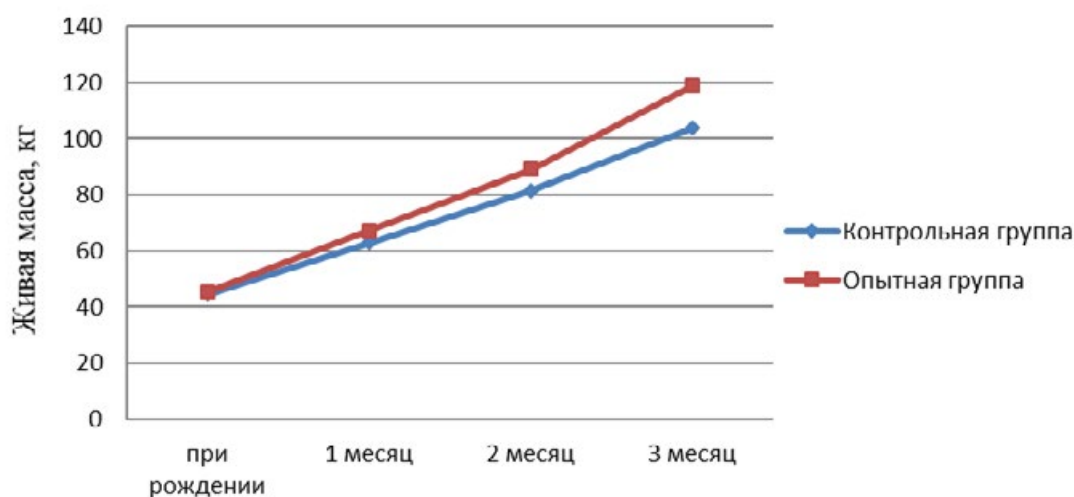


Рис. 1. Живая масса телят, кг
Live weight of calves, kg

Результаты исследования, представленные на рис. 1, демонстрируют значительное преимущество в росте телят опытной группы, которым выпаивали метабиотическую кормовую добавку, по сравнению с контрольной группой, получавшей стандартный рацион, принятый в хозяйстве. К концу первого месяца выращивания телята опытной группы по массе тела были тяжелее своих сверстников из контрольной группы на 4,5 кг,

что составляет разницу в 7,2 % и является статистически значимым результатом ($p < 0,05$). По окончании второго месяца выращивания разница по сравнению с контрольной группой составила 7,6 кг (9,3 %, $p < 0,05$), а в возрасте трех месяцев – 15,2 кг, что больше на 14,7 % ($p < 0,001$).

Показатели среднесуточных приростов массы тела телят подопытных групп представлены на рис. 2.

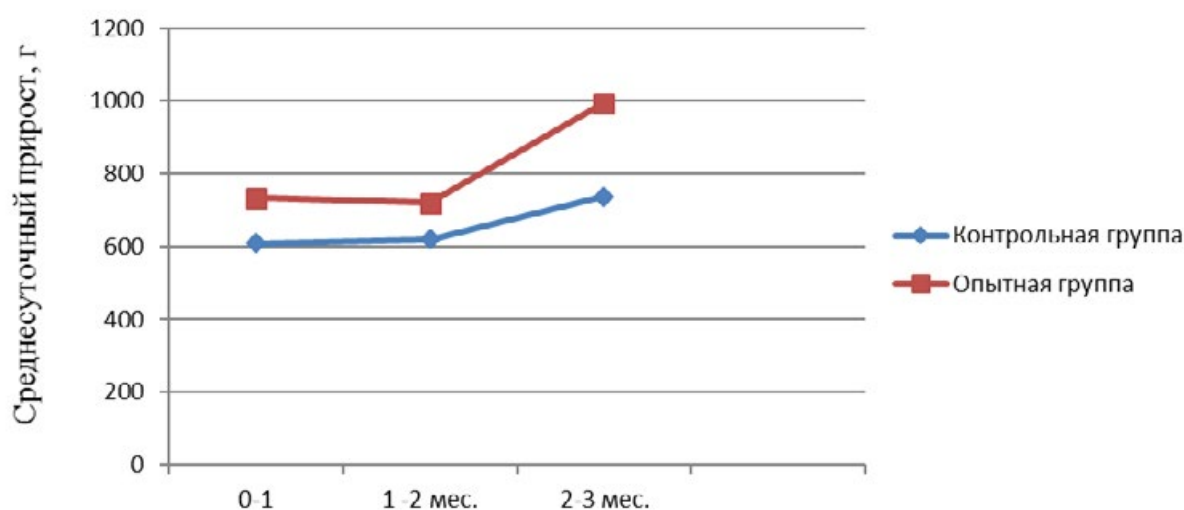


Рис. 2. Динамика среднесуточных приростов массы тела телят, г
Dynamics of average daily body weight gain of calves, g

Среднесуточный прирост массы тела телят в период применения метабитического препарата (0–1 мес.) в опытной группе животных на 123,8 г (20,3 %) достоверно больше, чем в контроле ($p < 0,01$). С первого по второй месяцы выращивания среднесуточный прирост в опытной группе животных увеличился на 100,0 г (16,2 %, $p < 0,01$) относительно аналогичного значения в

контрольной группе животных. В возрасте от двух до трех месяцев среднесуточный прирост также наблюдался у телят опытной группы – 995,2 г, что на 257,1 г (34,8 %) больше, чем в контроле ($p < 0,001$).

Показатели сохранности молодняка подопытных групп представлены на рис. 3.

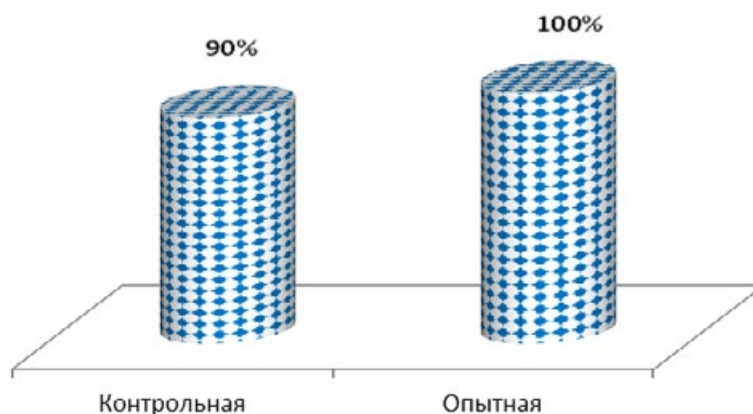


Рис. 3. Сохранность молодняка подопытных групп, %
Survival of young animals in experimental groups, %

Анализ значения сохранности телят позволяет заключить, что рассматриваемый показатель в контрольной группе животных составлял 90 %, в опытной группе – 100 %, что на 10 % больше чем в контрольной группе животных. Полученные данные свидетельствуют о снижении смертности среди телят опытной группы, что можно объяс-

нить улучшением общего состояния здоровья и укрепления иммунитета благодаря применению метабитической кормовой добавки.

Микрофлора кишечника участвует практически во всех видах обмена веществ. Она принимает активное участие в переваривании и усвоении белков, жиров и углеводов, позволяет синтезиро-

вать витамины группы В, различные антимикробные вещества, бактериоцины, короткоцепочечные жирные кислоты и т.д. От функциональной активности микрофлоры желудочно-кишечного тракта телят во многом зависит интенсивность их роста [11].

В наших исследованиях различное соотношение метаболитов, продуцируемых пробиотиче-

ской культурой *B. pumilus* и культурой дрожжей *K. Lactis*, оказало положительное влияние на количественный и качественный состав микрофлоры толстого отдела кишечника телят. Количественный и качественный состав микрофлоры толстого отдела кишечника телят до начала эксперимента представлен в таблице.

Количественный и качественный состав микрофлоры толстого отдела кишечника телят перед началом выпаивания метабиотической кормовой добавки
Quantitative and qualitative composition of the microflora of the large intestine of calves before feeding with a metabiotic feed additive

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
КМАФАнМ, КОЕ/г	$1,3 \pm 0,06 \times 10^9$	$5,0 \pm 0,22 \times 10^9$
	$1,5 \pm 0,05 \times 10^8$	$1,6 \pm 0,07 \times 10^8$
Молочнокислые бактерии, КОЕ/г	$2,2 \pm 0,10 \times 10^9$	$1,1 \pm 0,02 \times 10^9$
	$8,5 \pm 0,40 \times 10^7$	$1,3 \pm 0,02 \times 10^9$
БГКП, КОЕ/г	$1,1 \pm 0,01 \times 10^8$	$9,2 \pm 0,39 \times 10^7$
	$2,3 \pm 0,01 \times 10^8$	$1,1 \pm 0,02 \times 10^8$
Микроскопические грибы, КОЕ/г.	$1,1 \pm 0,05 \times 10^4$	$3,9 \pm 0,08 \times 10^4$
	$1,2 \pm 0,05 \times 10^4$	$1,0 \pm 0,01 \times 10^4$
Стафилококки, КОЕ/г.	—	—

Примечание. Над чертой – значения перед началом выпаивания метабиотической кормовой добавки под чертой значения на 30-й день выпаивания метабиотической кормовой добавки.

Проведя анализ данных, представленных в таблице, можно заключить, что перед началом выпаивания метабиотика исследуемые показатели количественного и качественного состава микрофлоры толстого отдела кишечника телят-молочников опытной группы не имели статистически значимых различий с аналогичными значениями в контрольной группе животных.

В результате введения в состав рациона молодняка крупного рогатого скота метабиотической кормовой добавки на 30-й день проведения эксперимента установлен статистически недостоверный рост в толстом отделе кишечника числа КМАФАнМ у животных опытной группы на 6,7 % относительно контрольных значений.

У молодняка опытной группы количество молочнокислых бактерий также находилось на значительно большем уровне, чем в контроле при разнице в 93,5 %. Активность этих производящих молочную кислоту бактерий способна стимулировать производство антител и усиливать активность фагоцитов, направленную против патогенных микроорганизмов в кишечнике. В результате этого организм телят лучше борется с инфекцией [12]. Наряду с этим молочнокислые

бактерии помогают расщеплять сложные углеводы и клетчатку, а также способствуют усвоению кальция и магния, что особенно важно для увеличения интенсивности роста молодняка [13].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В наших исследованиях наблюдалось увеличение живой массы и интенсивность роста телят опытной группы в сравнении с контрольной, это может быть связано с уникальным составом метабиотической добавки. В состав метабиотической кормовой добавки, которая выпаивалась животным в опытной группе, входят метаболиты споровых микроорганизмов *Bacillus pumilus* и дрожжей *Kluyveromyces lactis*. Вид *B. pumilus* является продуцентом щелочной сериновой протеазы (группа ферментов, катализирующих процесс протеолиза белков), ксилоназы (фермент, расщепляющий линейный полисахарид ксилан на глюкозу), β -маннаназы (фермент, который способен разрушать β -1,4-гликозидную связь и деградировать β -маннанный, галактоманан и гликоманан в маннаномагганцегид и маннозу). На основании этого можно предположить, что выпаи-

вание телятам молочного периода выращивания метабитической добавки будет стимулировать рост собственной микрофлоры желудочно-кишечного тракта, что в сочетании с ферментной активностью метабитиков будет способствовать лучшему усвоению питательных веществ корма, а антимикробное действие исследуемого метабитика будет способствовать уменьшению числа желудочно-кишечных заболеваний животных. Совокупность указанных факторов будет способствовать повышению интенсивности роста и сохранности телят в молочный период выращивания.

В исследованиях, проведенных рядом авторов, также установлено увеличение массы тела телят при включении в состав их рациона метабитической кормовой добавки [14].

Введение в состав рациона телят молочного периода выращивания метабитической кормовой добавки стимулировало рост собственной полезной микрофлоры желудочно-кишечного тракта телят, что в сочетании с ферментной активностью, наличием метаболитов в виде свободных аминокислот и витаминов, входящих в состав исследуемой кормовой добавки, вероятно, способствовало обогащению рациона питания, большей вкусовой привлекательности прикорма, а антибиотическое и антагонистическое действие исследуемого метабитика могло способствовать уменьшению числа желудочно-кишечных заболеваний животных.

Рост числа молочнокислых бактерий в толстом отделе кишечника вследствие применения в кормлении телят опытной группы исследуемой метабитической кормовой добавкой может быть связан с тем, что *B. Pumilus* B-13250 продуцирует ферменты, витамины группы В, различные аминокислоты и органические кислоты [15], которые являются факторами роста для молочнокислых бактерий. Также известно, что *K. Lactis* являются продуцентами органических кислот [16, 17], стимулирующих рост и численность молочнокислых бактерий. Следует отметить, что молочнокислые бактерии в результате сбраживания углеводов образуют в большом количестве молочную кислоту. При этом происходит закисление среды, изменяется протон-движущая сила $\Delta\mu_{H^+}$ в клетках микроорганизмов, что обусловлено снижением pH среды. В то же время известно, что для роста молочнокислых бактерий в анаэробных условиях более благоприятны нейтральное значение pH и более восстановленная среда [18, 19]. Большинство представителей дрожжей *K. Lactis* являют-

ся продуцентами уксусной кислоты, которая, попадая в определенных количествах в просвет кишечника, может выступать как буфер и поддерживать стабильность pH несмотря на наличие других кислот и оснований, тем самым создавать благоприятные условия для роста молочнокислых бактерий [20–22].

Молочнокислые бактерии путем синтеза молочной кислоты и экзополисахаридов оказывают угнетающее действие на развитие условно-патогенных микроорганизмов [23], в наших исследованиях это нашло свое подтверждение в уменьшении количества БГКП в толстом отделе кишечника телят опытной группы на 52,2 % относительно контроля. Численность микроскопических грибов стала меньше у телят опытной группы на 16,7 % в сравнении с аналогичным значением в контрольной группе животных. Стафилококков в исследуемых образцах кала, отобранных от животных контрольной и опытной групп, выявлено не было.

ВЫВОДЫ

1. Введение в состав рациона телят молочного периода выращивания метабитической кормовой добавки способствовало увеличению массы тела телят в опытной группе в возрасте одного, двух и трех месяцев от 7,2 % ($p < 0,05$) до 14,7 % ($p < 0,001$), среднесуточных приростов массы тела от 16,2 % ($p < 0,01$) до 34,8 % ($p < 0,001$), Сохранность телят за исследуемый период в контрольной группе составляла 90 %, в опытной группе рассматриваемое значение находилось на уровне 100 %.

2. Использование в рационе телят метабитической кормовой добавки способствовало увеличению в толстом отделе кишечника общего количества бактерий в опытной группе животных на 6,7 %, молочнокислых бактерий стало больше на 93,5 % соответственно относительно аналогичных значений в контрольной группе животных. В кишечном микробиоме телят опытной группы число БГКП стало меньше на 52,2 % относительно аналогичного значения в контроле. Численность микроскопических грибов также сократилась в опытной группе животных на 16,7 % в сравнении с контролем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барило О.А., Мерзленко Р.А., Артюх В.М. Оценка влияния ДБА «Энервит» на некоторые морфобиохимические показатели крови и состав микрофлоры кишечника телят // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского Биология. Химия. – 2022. – Т. 8, № 74. – С. 3–13.
2. Михайлова Д.С., Магер С.Н. Влияние фитометабиотика «Фитолизатгастро» на показатели гомеостаза и изменение популяций микрофлоры толстого отдела кишечника телят с синдромом желудочно-кишечных заболеваний // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 3 (72). – С. 221–229.
3. Афанасьева А.И., Сарычев В.А., Сосин И.В. Влияние ферментно-пробиотического препарата «Профорт» на микрофлору рубца и воспроизводительную функцию коров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4 (73). – С. 134–141.
4. Андреева А.В., Арсланова Ю.Ф. Естественная резистентность и микробиоценоз кишечника телят при применении БАВ // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2011. – Т. 207. – С. 37–41.
5. Бурцева Т.В. Экологические аспекты применения пробиотиков в ветеринарии // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 7 (113). – С. 15–17.
6. Нечисляев В.А., Мокин П.А., Федорова Т.В. К вопросу разработки высокоэффективных метаболитных пробиотиков // Сибирский медицинский журнал. – 2016. – № 2–1. – С. 15–17.
7. Метабиотики как естественное развитие пробиотической концепции / М.Д. Ардатская, Л.Г. Столярова, Е.В. Архипова, О.Ю. Филимонова // Трудный пациент. – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 291–298.
8. Велева Е.Р., Вербицкий А.А. Микробиоценоз кишечника телят в неонатальный период // Актуальные проблемы лечения и профилактики болезней молодняка: мат.-лы междунар. науч.-практ. конф. – Витебск, 2020. – С. 17–22.
9. Овсянников А.И. Основы опытного дела в животноводстве. – М.: Колос, 1976. – 185 с.
10. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие / Под ред. А.П. Калашникова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.
11. Вербицкий А.А., Велева Е.Р. Микробиом кишечника новорожденных телят // Актуальные проблемы лечения и профилактики болезней молодняка: мат.-лы междунар. науч.-практ. конф. – Витебск: ВГАВМ, 2019. – С. 14–18.
12. Морозова Л.А., Миколайчик И.Н., Достовалов Е.В. Гематологические показатели и микробиоценоз желудочно-кишечного тракта телят при скармливании кормовой добавки «Лактур» // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Пищевые биотехнологии. – 2015. – Т. 3, № 1. – С. 76–82.
13. Петраков Е.С., Петракова Н.С. Биологические свойства лактобацилл кишечной микрофлоры и их значение в нормализации физиологических функций у сельскохозяйственных животных // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2014. – № 2. – С. 5–31.
14. Овсеев В.Ю., Михалюк А.Н., Малец А.В. Определение оптимальных норм ввода метабиотика в рационы молодняка крупного рогатого скота // Современные технологии сельскохозяйственного производства: мат.-лы XXVII Междунар. науч.-практ. конф. – Гродно, 2024. – С. 78–80.
15. Евдокимов И.Ю., Иркитова А.Н. Анализ профиля метаболитов ризосферных штаммов *Bacillus* для подтверждения их пробиотического потенциала // Тез. III Междунар. конф. «Сохранение и преумножение генетических ресурсов микроорганизмов». – СПб., 2024. – С. 31.
16. Júnior G.F.V., Bittar C.M.M. Microbial colonization of the gastrointestinal tract of dairy calves – a review of its importance and relationship to health and performance // Animal Health Research Reviews. – 2021. – № 2. – P. 97–108.
17. Куликова И.К., Евдокимов И.А., Гашева М.А. Кисломолочный напиток смешанного брожения // Молочная промышленность. – 2010. – № 7. – С. 53–54.
18. Associations between group sizes, serum protein levels, calf morbidity and growth in dairy-beef calves in a Finnish calf rearing unit / L. Seppa-Lassila, J. Oksanen, T. Herva [et al.] // Preventive Veterinary Medicine. – 2018. – № 161. – P. 100–108.
19. Rodicio R., Heinisch J.J. Yeast on the milky way: genetics, physiology and biotechnology of *Kluyveromyces lactis* // Yeast. – 2013. – Vol. 30, № 5. – P. 165–177.
20. Влияние экзополисахаридов молочнокислых бактерий на микрофлору толстого отдела кишечника мышей / А.В. Нурмухамедов, М.И. Правдивцева, Н.А. Фокина, Л.В. Карпунина // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2010. – № 12. – С. 29–31.
21. Согомонян Д., Акопян К., Трчунян А. Изменение рН и окислительно-восстановительного потенциала среды в процессе роста молочнокислых бактерий: влияние окислителей и восстановителей // Прикладная биохимия и микробиология. – 2011. – Т. 47, № 7. – С. 33–38.
22. Effects of postbiotic supplementation on growth performance, ruminal fermentation and microbial profile, blood metabolite and GHR, IGF-1 and MCT-1 gene expression in post-weaning lambs BMC / W.I. Izuddin, T.C. Loh, A.A. Samudin [et al.] // Veterinary research. – 2019. – № 15. – P. 1–10.

23. Diet composition influences probiotic and postbiotic effects in broiler growth and physiology / S.C.G. Jansseune, A. Lammers, J. Baal [et al.] // *Poultry Science*. – 2024. – № 6. – P. 103650.

REFERENCES

1. Barilo O.A., Merzlenko R.A., Artyuh V.M., *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo Biologiya. Himiya*, 2022, T. 8, No. 74, pp. 3–13. (In Russ.)
2. Mihajlova D.S., Mager S.N., *Vestnik NGAU*, 2024, No. 3 (72), pp. 221–229. (In Russ.)
3. Afanas'eva A.I., Sarychev V.A., Sosin I.V., *Vestnik NGAU*, 2024, No. 4 (73), pp. 134–141. (In Russ.)
4. Andreeva A.V., Arslanova YU.F., *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy mediciny im. N.E. Baumana*, 2011, T. 207, pp. 37–41. (In Russ.)
5. Burceva T.V., *Agrarnyy vestnik Urala*, 2013, No. 7 (113), pp. 15–17. (In Russ.)
6. Nechislav V.A., Mokin P.A., Fedorova T.V., *Sibirskiy medicinskij zhurnal*, 2016, No. 2–1, pp. 15–17. (In Russ.)
7. Ardatskaya M.D., Stolyarova L.G., Arhipova E.V., Filimonova O.YU., *Trudnyy pacient*, 2017, T. 22, No. 2, pp. 291–298. (In Russ.)
8. Veleva E.R., Verbickij A.A., *Aktual'nye problemy lecheniya i profilaktiki boleznej molodnyaka* (Current issues of treatment and prevention of diseases in young animals), Proceedings of the Conference Title, Vitebsk, 2020, pp. 17–22. (In Russ.)
9. Ovsyannikov A.I., *Osnovy opytnogo dela v zhivotnovodstve* (Fundamentals of experimental work in animal husbandry), Moscow: Kolos, 1976, 185 p.
10. *Normy i rationy kormleniya sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh* (Feeding standards and rations for farm animals), Pod red. A.P. Kalashnikova, Moscow: Agropromizdat, 1985, 352 p.
11. Verbickij A.A., Veleva E.R., *Aktual'nye problemy lecheniya i profilaktiki boleznej molodnyaka* (Gut microbiome of newborn calves), Proceedings of the Conference Title, Vitebsk, 2019, pp. 14–18. (In Russ.)
12. Morozova L.A., Mikolajchik I.N., Dostovalov E.V., *Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye biotekhnologii*, 2015, T. 3, No. 1, pp. 76–82. (In Russ.)
13. Petrakov E.S., Petrakova N.S., *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*, 2014, No. 2, pp. 5–31. (In Russ.)
14. Ovseev V.YU., Mihalyuk A.N., Malec A.V., *Sovremennyye tekhnologii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva* (Modern technologies of agricultural production) Proceedings of the Conference Title, Grodno, 2024, pp. 78–80. (In Russ.)
15. Evdokimov I.YU., Irkitova A.N., *Sohranenie i preumnozhenie geneticheskikh resursov mikroorganizmov* (Preservation and enhancement of genetic resources of microorganisms), Proceedings of the Conference Title, Sankt-Peterburg, 2024, pp. 31. (In Russ.)
16. Júnior G.F.V., Bittar C.M.M., Microbial colonization of the gastrointestinal tract of dairy calves – a review of its importance and relationship to health and performance, *Animal Health Research Reviews*, 2021, No. 2, pp. 97–108.
17. Kulikova I.K., Evdokimov I.A., Gasheva M.A., *Molochnaya promyshlennost'*, 2010, No. 7, pp. 53–54. (In Russ.)
18. Seppä-Lassila L., Oksanen J., Herva T., Dorbek-Kolin E., Kosunen H., Porviainen L., Soveri T., Orro T., Associations between group sizes, serum protein levels, calf morbidity and growth in dairy-beef calves in a Finnish calf rearing unit, *Preventive Veterinary Medicine*, 2018, No. 161, pp. 100–108.
19. Rodicio R., Heinisch J.J., Yeast on the milky way: genetics, physiology and biotechnology of *Kluyveromyces lactis*, *Yeast*, 2013, Vol. 30, No. 5, pp. 165–177.
20. Nurmuhamedov A.V., Pravdivceva M.I., Fokina N.A., Karpunina L.V., *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova*, 2010, No. 12, pp. 29–31. (In Russ.)
21. Sogomonyan D., Akopyan K., Trchunyan A., *Prikladnaya biohimiya i mikrobiologiya*, 2011, T. 47, No. 7, pp. 33–38. (In Russ.)
22. Izuddin W.I., Loh T.C., Samsudin A.A., Foo H.L., Humam A.M., Shazali N., Effects of postbiotic supplementation on growth performance, ruminal fermentation and microbial profile, blood metabolite and GHR, IGF-1 and MCT-1 gene expression in post-weaning lambs BMC, *Veterinary research*, 2019, No. 15, pp. 1–10.
23. Jansseune S.C.G., Lammers A., Baal J., Blanc F., Laan M.H.P., Calenge F., Hendriks W.H., Diet composition influences probiotic and postbiotic effects in broiler growth and physiology, *Poultry Science*, 2024, No. 6, pp. 103650.

Информация об авторах:

Т.В. Куренинова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории зоотехнии ФГБНУ ФАНЦА

И.А. Пушкарев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории зоотехнии ФГБНУ ФАНЦА

В.А. Мартынов, кандидат сельскохозяйственных наук, специалист по кормам ООО «Бета-Трейд»

И.Ю. Евдокимов, кандидат биологических наук, и.о. зам. директора, научный сотрудник Инжинирингового центра «Промбиотех» АлтГУ

А.Ю. Иркитова, кандидат биологических наук, доцент, и.о. директора, ведущий научный сотрудник Инжинирингового центра «Промбиотех» АлтГУ

Д.И. Дудник, младший научный сотрудник Инжинирингового центра «Промбиотех» АлтГУ

М.В. Шурманов, младший научный сотрудник Инжинирингового центра «Промбиотех» АлтГУ

Contribution of the authors:

T.V. Kureninova, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Animal Science Laboratory of the Federal Agency for Agricultural Development

I.A. Pushkarev, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Animal Science Laboratory of the Federal Agency for Agricultural Development

V.A. Martynov, Candidate of Agricultural Sciences, Feed Specialist, Beta-Trade LLC

I.Yu. Evdokimov, PhD in Biology, Acting Deputy Director, Researcher at the Prombiotech Engineering Center, Altai State University

A.Yu. Irkitova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Acting Director, Leading Researcher at the Prombiotech Engineering Center of Altai State University

D.I. Dudnik, Junior Researcher at the Prombiotech Engineering Center at Altai State University

M.V. Shirmanov, Junior Researcher at the Prombiotech Engineering Center at Altai State University

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ ФУЛЬВОКИСЛОТЫ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС СТЕЛЬНЫХ СУХОСТОЙНЫХ КОРОВ

Т.Б. Лашкова, Г.В. Петрова

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал), д. Борки Новгородской области, Россия

E-mail: laschkowa@mail.ru

Для цитирования: Лашкова Т.Б., Петрова Г.В. Влияние фульвокислоты на биохимический статус стельных сухостойных коров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет) – 2025. – № 4 (77). – С. 197–203. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-197-203.

Ключевые слова: стельные сухостойные коровы, фульвокислота, сыворотка крови, биохимические показатели.

Реферат. Неотъемлемой частью эффективного производства сельскохозяйственной продукции является полноценное кормление животных, для корректировки которого применяются разнообразные кормовые добавки. Несомненный приоритет среди них имеют биологически активные вещества природного происхождения, которые в большей степени соответствуют организму животных, не токсичны и не имеют побочных эффектов, в частности фульвокислота. В статье рассмотрено влияние использования фульвокислоты в рационах глубокостельных коров на биохимические показатели сыворотки крови. Экспериментальная часть работы была выполнена в КФХ «Ермолинское» Новгородской области на поголовье стельных сухостойных коров голштинской породы. Были отобраны три группы животных ($n = 10$), контрольная группа потребляла основной рацион (ОР), сбалансированный по питательности для данной категории, первая опытная – ОР + фульвокислота (20 мл/гол/сутки), вторая опытная – ОР + фульвокислота (25 мл/гол/сутки). Результаты исследований показали, что в основном концентрация изученных метаболических продуктов в крови животных находилась в области нормальных значений, но имели место межгрупповые различия. Так, анализ параметров белкового индекса показал, что использование в рационе фульвокислоты в дозировке 25 мл привело к понижению его показателя ниже рекомендованных значений, которое составило 0,84 против 0,9 в контрольной и первой опытной группах. Повышение массовой дозы добавки до 25 мл также привело к снижению содержания мочевины в сыворотке крови по сравнению с данными группами. Снижение значений отношения АСТ к АЛТ в опытных группах, особенно в первой, можно расценивать как сокращение патологических изменений в печени и проявление гепатопротекторного терапевтического эффекта фульвокислоты. Изучение данных эксперимента позволяет заключить, что использование фульвокислоты в рационах глубокостельных коров не отразилось критическими результатами на составе сыворотки крови. Полученные итоги позволяют рекомендовать фульвокислоту для применения в рационах глубокостельных коров на фермах Северо-Западного региона в количестве 20 мл на голову в сутки.

THE EFFECT OF FULVIC ACID ON THE BIOCHEMICAL STATUS OF MATURE DRY COWS

T.B. Lashkova, G.V. Petrova

Novgorod Scientific Research Institute of Agriculture, a branch of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Borki, Russia

E-mail: laschkowa@mail.ru

Keywords: sterile dry cows; fulvic acid; blood serum; biochemical parameters.

Abstract. Summary An integral part of the effective production of agricultural products is the full-fledged feeding of animals, for which various feed additives are used. Biologically active substances of natural origin, which are more suitable for the animal body, are non-toxic and have no side effects, in particular fulvic acid, have an undoubted priority among them. The article examines the effect of the use of fulvic acid in the diets of pregnant cows on the biochemical parameters of blood serum. The experimental part of the work was carried out in the farm Ermolinskoye in the Novgorod region on the stock of old-age dry-resistant Holstein cows. Three groups of animals were selected ($n=10$), the control group consumed a basic nutritionally balanced diet (RR) for this category, the first experimental group consumed RR + fulvic acid (20 ml/head/day), the second experimental

group consumed RR + fulvic acid (25 ml/head/day). The research results showed that the concentration of the studied metabolic products in the blood of animals was mostly in the range of normal values, but there were intergroup differences. Thus, an analysis of the parameters of the protein index showed that the use of fulvic acid in a dosage of 25 ml in the diet led to a decrease in its value below the recommended values, and amounted to 0.84 versus 0.9 in the control and first experimental groups. An increase in the mass dose of the supplement to 25 ml also led to a decrease in the urea content in the blood serum compared with these groups. The decrease in the ratio of AST to ALT in the experimental groups, especially in the first one, can be regarded as a reduction in pathological changes in the liver and a manifestation of the hepatoprotective therapeutic effect of fulvic acid. The study of experimental data allows us to conclude that the use of fulvic acid in the diets of deeply pregnant cows did not have a critical effect on the composition of blood serum. The results obtained allow us to recommend fulvic acid for use in the diets of deeply pregnant cows on farms in the North-Western region in the amount of 20 ml per head per day.

Для повышения продуктивности животных, а также качества получаемой продукции, в рационах используются кормовые добавки различного происхождения – синтетические, минеральные, биологические. Среди них безусловную перспективу имеют гуминовые и фульвокислоты, которые в большей степени соответствуют организму животных по своей природе, чем синтетические. Кроме того, эти природные вещества в основном получены из местных ресурсов, что подчеркивает их доступность. Фульвокислота (ФК) по достоинству признана одним из важнейших элементов в области науки и здоровья как лучшее природное излечивающее вещество. При переносе в клетку полезных веществ фульвокислота связывает и экскретирует тяжелые металлы, токсины, радиоактивные изотопы и метаболические продукты распада. Фульвокислота имеет силу антибактериальных препаратов, но не угнетает полезную микрофлору, значительно ускоряя метаболизм бактерий, провоцируя усиленное разрушение микробных клеток. Препарат фульвокислоты обладает широким спектром биологической активности, положительно влияет на протекание метаболических процессов в организме животных [1–5].

За счет микроэлементов, входящих в структуру ФК, происходит обогащение иммунной системы, позволяющее животным противостоять болезням [2, 3, 6].

Многие источники отмечают, что ФК образует пленку на слизистом эпителии желудочно-кишечного тракта, которая служит защитой от инфекционных заболеваний и токсических веществ, повышает переваримость питательных веществ рационов [7, 8].

Отмечается также, что использование в кормовых рационах фульвокислоты положительно воздействует на процессы в печени, устраняя дисбаланс уровня печеночных ферментов, ускоряя регенерацию пораженных гепатоцитов [2, 9, 10].

Применяя в кормлении животных различные кормовые добавки, товаропроизводители должны

оценить результативность того или иного препарата для дальнейшего использования. Для этого существуют разнообразные методы и приемы, в том числе и биохимические, в частности, биохимические исследования сыворотки крови [11].

Исследования биохимических показателей коров, при уровне современного прогресса в промышленном животноводстве, являются неотъемлемой частью эффективного производства продукции. В ведущих хозяйствах, имеющих высокий уровень рентабельности, проводится периодический мониторинг биохимического статуса поголовья, чтобы контролировать и корректировать состояние стада [11, 12].

Установлено, что метаболические процессы в организме тесно коррелированы, к тому же реакции обмена веществ максимально координированы между собой. Трансформация в содержании или синтезе одного из компонентов не может не проявиться на концентрации другого. В связи с этим при условии правильного обмена веществ все значения показателей входят в установленные рамки. Поэтому основным положительным эффектом таких исследований является картина развития негативных процессов на самых ранних стадиях. Кроме этого, биохимические показатели крови позволяют выявить возможные недочеты в кормлении и содержании животных, полное представление о работе органов, а также эффективность применения в рационах различных кормовых добавок [11–14].

Цель исследований – изучение влияния фульвокислоты на биохимические показатели сыворотки крови стельных сухостойных коров в условиях Новгородской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были выполнены в КФХ «Ермолинское» Новгородской области на поголовье стельных сухостойных коров голштинской породы

согласно методике А.И. Овсянникова (1976) [15]. Продолжительность эксперимента составила 30 дней. Отбор животных для постановки на опыт производился в основном по фенотипическим показателям: живой массе (650–700 кг), возрасту в отелах (2–4), дате ожидаемого отела.

Продукт фульвокислоты с концентрацией действующего вещества 19,2 % приготовлен в лаборатории лимнологии Института озераведения РАН из озерного сапропеля месторождения в поселке Середка Псковской области и согласно договору о сотрудничестве получен для исследований в необходимом количестве.

Содержание животных привязное. По принципу аналогов были сформированы три группы коров – контрольная и две опытных ($n = 10$). Контрольная группа потребляла основной рацион (ОР), принятый в хозяйстве и сбалансированный по питательности для данной категории животных. Первая опытная группа дополнительно к ОР получала 20 мл фульвокислоты на голову в сутки, вторая – 25 мл этой добавки. Раствор препарата вносился путем орошения силосной массы из лейки в утреннее кормление. Забор крови у животных проведен в конце опытного периода

перед утренним кормлением из подхвостовой вены. Анализ сыворотки крови выполнен в Новгородской областной ветеринарной лаборатории на автоанализаторе Cormey Lumen (BTS 370 Plus).

Статистическая обработка проведена с использованием методических руководств по биометрии Н.А. Плохинский [16] и программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Кровь, имея отличительную особенность удерживать стабильное состояние, отражает все стороны метаболических процессов, которые происходят в организме. Так, стельность коров способствует физиологическому напряжению организма, и это неизменно приводит к трансформации показателей общей картины крови. Результаты исследований показали, что концентрация изученных метаболических продуктов в крови животных находилась в области нормальных значений, лишь некоторые из них отклонялись за допустимые пределы в ту или иную сторону (таблица).

Биохимические показатели стельных сухостойных коров
Biochemical parameters of pregnant dry cows

Показатель	Контрольная группа (ОР)		Первая опытная группа (20 мл)		Вторая опытная группа (25 мл)	
	Значения	Сv, %	Значения	Сv, %	Значения	Сv, %
Общий белок, г/л	83,98±2,43	6,48	82,12±2,42	6,61	82,7±3,95	5,98
Альбумин, г/л	39,84±3,20	17,96	39,18±1,34	7,67	37,76±0,89	5,29
Глобулин, г/л	44,14±2,52	12,78	42,94±2,23	11,65	44,94±1,85	9,22
Мочевина, ммоль/л	2,50±0,19	17,28	2,50±0,33	29,42	2,35±0,28	26,64
Креатинин, мкмоль/л	119,28±11,05	20,71	104,36±4,77	10,22	113,46±4,77	9,60
Глюкоза, ммоль/л	4,14±0,41	22,34	3,94±0,15	8,69	3,41±0,20	13,23
Билирубин общ., мкмоль/л	3,32±0,71	48,45	3,33±0,59	40,27	3,48±0,72	46,70
АСТ, МЕ/л	68,80±6,43	20,92	53,74±3,84	16,00	87,03±15,63	31,11
АЛТ, МЕ/л	17,62±2,31	29,35	22,18±0,55	5,58	26,54±3,09	26,04
Щелочная фосфатаза, МЕ/л	67,02±7,43	24,80	71,72±7,59	23,68	56,02±14,60	52,13
Калий, ммоль/л	4,68±0,10	4,87	4,72±0,10	5,05	4,94±0,17	8,09
Кальций, ммоль/л	3,42±0,17	11,76	3,04±0,12	8,88	3,26±0,14	9,90
Фосфор, ммоль/л	2,04±0,31	34,20	1,78±0,16	20,79	2,05±0,08	9,22
Гамма – ГТ, МЕ/л	13,84±1,40	22,75	16,62±2,85	38,43	14,52±2,67	41,23

В норме концентрация общего белка в сыворотке крови коров составляет 72–86 г/л. Она зависит, прежде всего, от соотношения синтеза и распада основных белковых фракций – альбуминов и глобулинов. В нашем случае уровень общего белка в сыворотке крови коров всех групп соответствовал рекомендуемым значениям: 82,12–83,98 г/л. При многих заболеваниях изменяется процентное соотношение белковых фракций, хотя общее содержание белка в сыворотке крови остается в пределах нормы. Анализ параметров белкового индекса показал, что использование в рационе фульвокислоты в дозировке 25 мл привело к понижению его показателя ниже рекомендованных значений, которое составило 0,84 против 0,9 в контрольной и первой опытной группах.

Установление соответствия количества сырого протеина в рационе физиологическим потребностям организма коров осуществляется и по концентрации мочевины в сыворотке крови. При норме показателя 3,3–5,0 ммоль/л содержание мочевины в контрольной и первой опытной группах было одинаковым и составило 2,50 ммоль/л, что ниже минимального предела нормальных значений. Низкий уровень мочевины указывает на дефицит сырого протеина в рационе коров, в нашем случае можно предположить, что повышение дозировки фульвокислоты до 25 мл привело к ухудшению степени усвоения кормового белка, но, учитывая недостоверность разности между контролем и второй опытной группой животных, этот показатель не информативен.

Также белковый обмен в организме коров характеризует уровень креатинина в сыворотке крови. В наших исследованиях величина этого показателя во всех группах находится в пределах нормальных значений: 88–177 мкмоль/л.

Углеводы занимают значительное место в энергетическом балансе организма, глюкоза – один из основных компонентов крови, требующий контроля, особенно в период глубокой стельности. Результаты исследования показали, что в контрольной и первой опытной группе, при норме глюкозы в крови 2,22–3,88 ммоль/л, фактическая концентрация ее составила 4,14 и 3,94 ммоль/л соответственно. Во второй опытной группе коров этот показатель также находился в пределах физиологической нормы.

Показатели содержания билирубина во всех группах животных на опыте, при норме 0,0–5,0 мкмоль/л, имели практически одинаковые значения от 3,32 до 3,48 мкмоль/л и располагались в рамках нормальных параметров.

Активность АСТ у коров контрольной группы составила 68,80 МЕ/л. При введении в рацион 20 мл фульвокислоты в сыворотке наблюдалась тенденция снижения концентрации аспартатаминотрансферазы относительно контроля на 15,06 МЕ/л, а при использовании 25 мл значения этого показателя, наоборот, стремились к росту до 18,23 МЕ/л, но разница статистически не значима. Содержание АЛТ у животных контрольной группы было равно 17,62 МЕ/л, при использовании добавки в первой и второй опытной группах прослеживалось тяготение к росту показателя, однако оно не подтверждено.

Хотя все изменения активности аминотрансфераз находились в рамках стандарта, отношение АСТ к АЛТ (индекс де Ритиса) превосходил верхнюю границу рекомендуемых значений. При норме 0,91–1,75 МЕ/л показатели индекса де Ритиса в контрольной группе составили 3,90 МЕ/л, первой и второй опытной – 2,42 и 3,28 МЕ/л соответственно. Снижение значений отношения АСТ к АЛТ в опытных группах, особенно в первой, можно считать сокращением патологических изменений в печени.

При исследовании показателя щелочной фосфатазы между группами на эксперименте отметим, что в контрольной группе его значение равнялось 67,02 МЕ/л, в первой опытной и второй группе показатели также находились в рамках допустимых значений. И хотя концентрация щелочной фосфатазы в целом не выходила за пределы рекомендуемых значений, уменьшение количества печеночного фермента во второй опытной группе можно расценивать как диагностику развития холестаза у животных при увеличении количества фульвокислоты в рационе.

Анализ показателей крови служит индикатором здоровья всего организма, динамичности протекающего метаболизма, включая минеральный обмен. Калий принимает участие в обмене углеводов, стимулирует преобладающую часть пищеварительных ферментов. Средняя концентрация калия в сыворотке крови у всех групп животных на эксперименте находилась в границах физиологической нормы (opt 4,0–5,8 ммоль/л), разница между группами минимальная. Этот фактор свидетельствует о достаточном поступлении калия из рациона и его хорошем усвоении.

В организме животных наибольшее количество в сегменте макроэлементов занимает кальция, сосредоточенный в основном в костной ткани и зубах. К тому же кальций взаимосвязан с белком крови, создавая устойчивость его состава.

Даже незначительное отклонение в сыворотке крови содержания кальция от физиологической нормы приводит к расстройству деятельности нервной системы. При оптимальных значениях 2,5–3,13 ммоль/л концентрация кальция в контрольной группе составила 3,42 ммоль/л, превысив верхнюю границу нормы на 0,29 ммоль/л. Введение в рацион 20 мл/гол фульвокислоты привело значение показателя в рамки физиологической нормы и составило 3,04 ммоль/л. Увеличение массовой доли подкормки до 25 мл во второй опытной группе обусловило рост концентрации кальция на 0,13 ммоль/л по отношению к верхней границе нормы. Превышение кальция в рационе сухостойных коров приводит в первые дни лактации к нарушению его всасывания из кишечника и развитию пареза.

Аналогичным образом изменялось содержание в сыворотке крови фосфора. В контрольной и второй опытной группах наблюдалось превышение верхней границы рекомендованной нормы на 0,1–0,11 ммоль/л соответственно (орт 1,45–1,94 ммоль/л), а в первой опытной группе количество фосфора в крови нормализовалось и составило 1,78 ммоль/л.

Повышение активности ГГТ в сыворотке крови – ранний и важный показатель поражения эпителиальных клеток внутрипеченочных желчных протоков и вероятности развития холестаза. Содержание ГГТ у коров всех групп не выходило за рамки допустимых значений (орт 4–36 МЕ/л), что указывает на отсутствие нарушений функционального состояния печени. Незначительная разница активности гамма-глутамилтрансферазы в первой и второй опытных группах по сравнению с контролем недостоверна.

ВЫВОДЫ

1. Проанализировав результаты исследований, можно сделать вывод, что введение в рацион глубокоостельных коров фульвокислоты как биологически активной кормовой добавки не повлияло критически значимыми изменениями на состав сыворотки крови опытных животных. Однако имеются некоторые межгрупповые различия, в том числе положительные, свидетельствующие о благоприятном влиянии кормовой добавки на биохимические показатели. Так, показатели отношения АСТ к АЛТ (индекс де Ритиса) при норме 0,91–1,75 МЕ/л в контрольной группе составили 3,90 МЕ/л, в первой и второй опытной группах – 2,42 и 3,28 МЕ/л соответственно, что указывает на проявление гепатопротекторного терапевтического эффекта фульвокислоты.

2. Необходимо отметить, что повышение массовой доли добавки до 25 мл привело к незначительным ухудшениям показателей биохимического состава сыворотки крови.

3. При использовании фульвокислоты в рационах глубокоостельных коров достоверных различий между группами не выявлено.

Статья подготовлена в рамках выполнения темы государственного задания «Разработать теоретические и технологические основы увеличения производства сельскохозяйственной продукции в условиях изменения климата в Новгородской области с целью обеспечения продовольственной безопасности и импортозамещения» (FFZF-2025-0009) (регистрационный номер – 1022041500149-1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безуглова О.С., Зинченко В.Е. Применение гуминовых препаратов в животноводстве (обзор) // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 2. – С. 89–93.
2. Валитов Х.З., Фролкин А.И. Гуминовые кислоты в рационе кормления молодняка крупного рогатого скота // Современная ветеринарная наука: теория и практика: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию факультета ветеринарной медицины Ижевской ГСХА, Ижевск, 28–30 окт. 2020 г. – Ижевск, 2020. – С. 269–273.
3. Значение, теория и практика использования гуминовых кислот в животноводстве / А.А. Васильев, А.П. Коробов, С.П. Москаленко [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 31. – С. 3–6.
4. Effects of fulvic acid on growth performance and meat quality in growing-finishing pigs / Hongjian Bai, Q. Chang, B. Shi [et al.] // Livestock Science. – 2013. – Vol. 158. – P. 118–123. – DOI: 10.1016/j.livsci.2013.10.013.
5. Effects of dietary supplementation of fulvic acid on lipid metabolism of finishing pigs / Q. Chang, Z. Lu, H. Meng [et al.] // Journal of animal science. 2014. – Vol. 92 (11). – P. 4921–6. – DOI: 10.2527/jas.2014-8137.
6. Prevalence and predictors of bacteremia in dairy calves with diarrhea / J. Garcia, J. Pempek, M. Hengy [et al.] // J Dairy Sci. – 2022. – Vol. 105 (1). – P. 807–817. – DOI: 10.3168/jds.2020-19819. – PMID: 34656356.
7. Comprehensive Toxicological Assessment of Fulvic Acid / C. Dai, X. Xiao, Y. Yuan [et al.] // Evid Based Complement Alternat Med. – 2020. – P. 8899244. – DOI: 10.1155/2020/8899244. PMID: 33381216. PMCID: PMC7758121.

8. *A toxicological evaluation of a fulvic and humic acids preparation* / T.S. Murbach, R. Glávits, J.R. Endres [et al.] // *Toxicol Rep.* – 2020. – № 7. – P. 1242–1254. – DOI: 10.1016/j.toxrep.2020.08.030. – PMID: 32995299. – PMCID: PMC7505752.
9. *Humic substances isolated from clay soil may improve the ruminal fermentation, milk yield, and fatty acid profile: A Novel approach in dairy cows* / A.A.M. Hassan, A.Z.M. Salem, M.M.Y. Elghandour [et al.] // *Animal Feed Science and Technology.* – 2020. – Vol. 268. – P. 114601. – DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114601.
10. *Effects of sodium humate and glutamine combined supplementation on growth performance, diarrhea incidence, blood parameters, and intestinal microflora of weaned calves* / D. Wang, Y. Du, S. Wang [et al.] // *Animal Science Journal.* – 2021. – Vol. 92 (1). – P. e13584. – DOI: 10.1111/asj.13584.
11. Громыко Е.В. Оценка состояния организма коров методами биохимии // *Экологический вестник Северного Кавказа.* – 2005. – № 2 – С. 80–94 с
12. Биохимические маркеры дисфункции гепатобилиарной системы у новотельных коров / А.И. Ашенбреннер, Н.Ю. Беляева, Ю.А. Чекунова [и др.] // *Вестник КрасГАУ.* – 2023. – № 10. – С. 202–207. – DOI: 10.36718/1819-4036-2023-10-202-207.
13. Великанов В.В., Марусич А.Г., Суденкова Е.Н. Влияние оптимизации кормления лактирующих коров на биохимические показатели крови и состав молока // *Животноводство и ветеринарная медицина.* – 2021. – № 1. – С. 3–9.
14. Оценка общеклинических, биохимических и коагуляционных показателей крови коров с учетом продуктивности / В.В. Кулаков, Э.О. Сайтханов, О.А. Федосова [и др.] // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева.* – 2021. – № 4 (13). – С. 73–82.
15. Овсянников А.И. Основы опытного дела в животноводстве. – М.: Колос, 1976. – 185 с.
16. Плехинский Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников. – М.: Колос, 1969. – 256 с.

REFERENCES

1. Bezuglova O.S., Zinchenko V.E., *Achievements of science and technology of the agroindustrial complex*, 2016, Vol. 30, No. 2, pp. 89–93. (In Russ.)
2. Valitov Kh.Z., Frolkin A.I., *Sovremennaya veterinarnaya nauka* (Modern veterinary science: theory and practice), Materials of the International scientific and practical Conference, Izhevsk, 2020, pp. 269–273. (In Russ.)
3. Vasiliev A.A., Korobov A.P., Moskalenko S.P. [et al.], *Agrarian Scientific Journal*, 2016, No. 3, pp. 13–16. (In Russ.)
4. Bai H., Chang Q., Shi B., Shan A., Effects of fulvic acid on growth performance and meat quality in growing-finishing pigs, *Livestock Science*, 2013, Vol. 158, pp. 118–123, DOI: 10.1016/j.livsci.2013.10.013.
5. Chang Q., Lu Z., He M., Gao R., Bai H., Shi B., Shan A., Effects of dietary supplementation of fulvic acid on lipid metabolism of finishing pigs, *Journal of animal science*, 2014, Vol. 92 (11), pp. 4921–6, DOI: 10.2527/jas.2014-8137.
6. Garcia J., Pempek J., Hengy M., Hinds A., Diaz-Campos D., Habing G., Prevalence and predictors of bacteremia in dairy calves with diarrhea, *J Dairy Sci*, 2022, Vol. 105 (1), pp. 807–817, DOI: 10.3168/jds.2020-19819, PMID: 34656356.
7. Dai C., Xiao X., Yuan Y., Sharma G., Tang S., A Comprehensive Toxicological Assessment of Fulvic Acid, *Evid Based Complement Alternat Med*, 2020, pp. 8899244, DOI: 10.1155/2020/8899244, PMID: 33381216, PMCID: PMC7758121.
8. Murbach T.S., Glávits R., Endres J.R., Clewell A.E., Hirka G., Vértesi A., Béres E., Pasics Szakonyiné I., A toxicological evaluation of a fulvic and humic acids preparation, *Toxicol Rep*, 2020, No. 7, pp. 1242–1254, DOI: 10.1016/j.toxrep.2020.08.030, PMID: 32995299, PMCID: PMC7505752.
9. Hassan A.A.M., Salem A.Z.M., Elghandour M.M.Y., Abu Hafsa S.H., Ravi Kanth Reddy P., Atia S.E.S., Vidu L., Humic substances isolated from clay soil may improve the ruminal fermentation, milk yield, and fatty acid profile: A Novel approach in dairy cows, *Animal Feed Science and Technology*, 2020, Vol. 268, pp. 114601, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114601.
10. Wang D., Du Y., Wang S., You Z., Liu Y., Effects of sodium humate and glutamine combined supplementation on growth performance, diarrhea incidence, blood parameters, and intestinal microflora of weaned calves, *Animal Science Journal*, 2021, Vol. 92 (1), pp. e13584, DOI: 10.1111/asj.13584.
11. Gromyko E.V., *Ecological Bulletin of the North Caucasus*, 2005, No. 2, pp. 80–94. (In Russ.)
12. Aschenbrenner A.I., Belyaeva N.Yu., Chekunkova Yu.A. i dr., *Bulletin of KrasGAU*, 2023, No. 10, pp. 202–207, DOI: 10.36718/1819-4036-2023-10-202-207. (In Russ.)
13. Velikanov V.V., Marusich A.G., Sudenkova E.N., *Animal husbandry and veterinary medicine*, 2021, No. 1, pp. 3–9. (In Russ.)
14. Kulakov V.V., Saitkhanov E.O., Fedosova O.A. et al., *Bulletin of the Ryazan State Technical University named after P.A. Kostychev*, 2021, No. 4 (13), pp. 73–82. (In Russ.)

15. Ovsyannikov A.I., *Osnovy opytnogo dela v zhivotnovodstve* (Fundamentals of experimental business in animal husbandry), Moscow: Kolos, 1976, 185 p
16. Plokhinsky N.A., *Rukovodstvo po biometrii dlya zootekhnikov* (Guide to biometrics for animal technicians). Moscow: Kolos, 1969, 256 p.

Информация об авторах:

Т.Б. Лашкова, кандидат сельскохозяйственных наук

Г.В. Петрова, старший научный сотрудник

Contribution of the authors:

T.B. Lashkova, Candidate of Agricultural Sciences

G.V. Petrova, Senior Researcher

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ИЗУЧЕНИЕ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ГИНЗЕНОЗИДА ШЕСТИЛЕТНЕГО КОРНЯ ЖЕНЬШЕНЯ В ОТНОШЕНИИ ВИРУСА ИНФЕКЦИОННОГО БРОНХИТА КУР

¹О.Ю. Леденева, ¹М.А. Ряснянский, ¹Е.В. Дробот, ²Л.К. Герунова, ²Т.В. Герунов, ³Ким Хак Хен,

^{3,1}Л.П. Ермакова, ⁴А.С. Кильп

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск, Россия

³Малая технологическая компания ИБК ООО «Золото Сахалина», Новосибирск, Россия

⁴Сибирский федеральный центр агробиотехнологий РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: sagnuk@mail.ru

Для цитирования: Изучение фармакологической активности добавки на основе гинзенозида шестилетнего корня женьшеня в отношении вируса инфекционного бронхита кур / О.Ю. Леденева, М.А. Ряснянский, Е.В. Дробот, Л.К. Герунова, Т.В. Герунов, Ким Хан Хек, Л.П. Ермакова, А.С. Кильп // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет) – 2025. – № 4 (77). – С. 204–216. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-204-216.

Ключевые слова: женьшень, гинзенозид, петушок, инфекционный бронхит кур, интерлейкин-6, цитокиновый шторм, коронавирусная инфекция, тимус, экспрессия, SARS-CoV-2.

Реферат. Вирусы инфекционного бронхита кур (ИБК) и SARS-CoV-2 схожи, поэтому механизм попадания вируса ИБК в легкие через кишечник рассматривается как моделирование попадания в организм вируса SARS-CoV-2. Для проведения лабораторного опыта исследования ИБК цыплята кросса Shaver в возрасте 14 сут были инокулированы 10-кратной дозой вакцинного штамма ИБК. В данном исследовании подопытные птицы разделялись на одну зараженную контрольную группу и две опытные группы (для оценки профилактической и лечебной эффективности добавки). Наиболее выраженные патологоанатомические изменения отмечали в группе, в которой птице препарат выпаивался с лечебной целью. В опытной группе, в которой препарат задавали перед введением инфекционного агента (с профилактической целью), воспалительные процессы были менее выражены, что может свидетельствовать о профилактической эффективности препарата. При изучении количества вирусных частиц было выявлено отсутствие подавления вируса в тимусе у птиц, получавших добавку с лечебной целью, вследствие чего наблюдалась системная циркуляция вирусных частиц во всем организме. В группе, получавшей препарат с профилактической целью, за счет применения биологически активной добавки до момента попадания вируса в организм удалось предотвратить влияние вирусного агента на тимус, тем самым обеспечить более сглаженное течение коронавирусной инфекции. Было отмечено повышение уровня экспрессии провоспалительных цитокинов в обеих опытных группах. Установлено, что применение биологически активной пищевой добавки «Золото Императора. Иммуитет» вызывает активацию выработки NFκB в тимусе, легких и кишечнике при применении препарата с лечебной целью. Применение биологически активной добавки «Золото Императора. Иммуитет» вызывало более интенсивную выработку провоспалительных цитокинов, однако в случае ее использования с целью фармакопрофилактики реакция организма со стороны иммунной системы, течение коронавирусной инфекции было наиболее благоприятным для организма в целом.

STUDY OF THE PHARMACOLOGICAL ACTIVITY OF A SUPPLEMENT BASED ON GINSENOSE OF 6-YEAR-OLD GINSENG ROOT AGAINST THE INFECTIOUS BRONCHITIS VIRUS OF CHICKENS

¹O.Y. Ledeneva, ¹M.A. Rysnyansky, ¹E.V. Drobot, ²L.K. Gerunova, ²T.V. Gerunov, ³Kim Hak Hen,

^{3,1}L.P. Ermakova, ⁴A.S. Kilp

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia

³Small Technology Company IBK LLC "Gold of Sakhalin",
Novosibirsk, Russia

⁴Siberian Federal Center for Agrobiotechnology RAS, Novosibirsk, Russia

E-mail: sagnuk@mail.ru

Keywords: ginseng, ginsenoside, cockerel, infectious bronchitis of chickens, interleukin-6, cytokine storm, coronavirus infection, thymus, expression, SARS-CoV-2.

Abstract. *The infectious bronchitis viruses of chickens and SARS-CoV-2 are similar; therefore, the mechanism of entry of the IBD virus into the lungs through the intestine is considered as a simulation of the entry of the SARS-CoV-2 virus into the body. To conduct a laboratory experiment on the study of infectious bronchitis in chickens, Beaver cross chickens at the age of 14 days were inoculated with a 10-fold dose of the vaccine strain of infectious bronchitis in chickens. In this study, experimental birds were divided into one infected control group and two experimental groups (to evaluate the preventive and curative effectiveness of the supplement). The most pronounced pathoanatomic changes were noted in the group in which the drug was administered to the bird for therapeutic purposes. In the experimental group, in which the drug was administered before the introduction of an infectious agent (for preventive purposes), inflammatory processes were less pronounced, which may indicate the preventive effectiveness of the drug. When studying the number of viral particles, it was revealed that there was no suppression of the virus in the thymus of birds receiving the supplement for therapeutic purposes, as a result of which systemic circulation of viral particles throughout the body was observed. In the group receiving the drug for preventive purposes, through the use of a dietary supplement, the effect of the viral agent on the thymus was prevented until the virus entered the body, thereby ensuring a smoother course of coronavirus infection. An increase in the expression of proinflammatory cytokines was noted in both experimental groups. It has been established that the use of biologically active food additives "Gold of the Emperor. Immunity" causes activation of NFkB production in the thymus, lungs and intestines when the drug is used for therapeutic purposes. Application of biologically active additive "Gold of the Emperor. Immunity" caused a more intensive production of pro-inflammatory cytokines, however, in the case of its use for the purpose of pharmacoprophylaxis, the body's reaction from the immune system, the course of coronavirus infection was the most favorable for the body as a whole.*

Инфекционный бронхит кур (ИБК) – это широко распространенное вирусное заболевание в Российской Федерации, к которому восприимчивы куры всех возрастов, может использоваться как удобная модель коронавирусных инфекций людей при выборе фармакологической коррекции данной патологии [1–4]. Основным источником инфекции являются больные и переболевшие птицы, которые длительный период времени остаются вирусоносителями. Вирус ИБК – это РНК-содержащий вирус, который относится к семейству *Coronaviridae*, виду *Coronavirus* и характеризуется эпитеотропностью, размножается он в реснитчатом эпителии и клетках, секретирующих слизь. Основным местом репликации возбудителя ИБК являются верхние дыхательные пути, затем вирус проникает в кровь и распространяется по всему организму [1, 2, 5–8]. Тропизм возбудителя ИБК весьма широк, поэтому вирус продуцируется в респираторной системе, во многих отделах пищеварительного тракта, в почках, лимфоидных органах и яйцеводах. Пневмотропные штаммы поражают респираторную систему, вызывая гибель птицы от дыхательной недостаточности, вторичных бактериальных инфекций (преимущественно колибактериозов) и сопутствующих вирусных заболеваний [2, 6–8]. Для бройлеров характерно течение ИБК чаще с поражением респираторной системы, проявляющееся бронхитом, пневмонией, трахеитом, а также с поражением

почек в случае циркуляции нефропатогенных штаммов [1, 2, 6–8].

Поскольку вирусы ИБК и SARS-CoV-2 схожи, механизм попадания вируса ИБК в легкие через кишечник можно также применить к вирусу SARS-CoV-2. Результаты последних работ подтверждают справедливость гипотезы о том, что кишечник является основным органом размножения и накопления вирусов и служит источником диссеминации вируса в другие ткани. Эти результаты согласуются с тем фактом, что самая высокая экспрессия ACE2 в организме человека происходит в щеточной кайме энтероцитов кишечника [10, 11].

На сегодняшний день выявление большого количества коронавирусов при электронной микроскопии кишечного содержимого может говорить о возникновении массовых респираторных инфекций, несмотря на первичную локализацию вируса в кишечнике. Основная масса коронавирусов у птиц, телят, поросят, собак, кошек локализуется в кишечнике и вызывает в первую очередь кишечные расстройства, но при этом вирус ИБК, а именно часть пневмотропных штаммов данного вируса, является наглядным исключением [5, 9].

Биологически активная пищевая добавка представляет собой комплекс природных компонентов. В состав исследуемой биологически активной добавки «Золото Императора. Имму- нитет» входит аквилария, корень шестилетнего корейского красного женьшеня, панты марала,

чага, ягоды годжи, куркума, мед. Химический состав: витамин А – менее 0,16 мг/кг, витамин D – 0,37 мг/кг, витамин Е – 65,3 мг/кг.

По данным исследователей Choi et al. (1998), корейский красный женьшень обладает обширным химическим составом, но наибольший интерес вызывают гинзенозиды, полисахариды и ряд других продуктов. Также растение ингибирует несколько воспалительных реакций, включая передачу сигналов воспаления NLRP3. В состав пантов марала входят различные органические (полисахариды, липиды, белок, нуклеиновые кислоты, фосфолипиды, гликопротеиды, витамины, стероидные гормоны, инсулиноподобные факторы роста IGF-1 и IGF-2, цереброзиды и др.) и неорганические вещества (кальций, калий, натрий, магний, фосфор, железо, марганец, медь, йод, кремний, цинк, барий, кобальт, хром и др.).

Концентрации куркумина, содержащиеся в корне куркумы или капсулах, используемых в качестве пищевых добавок, способны полностью нейтрализовать SARS-CoV-2 *in vitro* [32]. Жирорастворимые витамины А, D и Е необходимы для правильного функционирования иммунной системы [33] и играют ключевую роль на каждой стадии врожденного и адаптивного иммунного ответа [34]. Витамины А, D, Е и К усиливают защитные механизмы организма против инфекции COVID-19 и, в частности, предотвращают ее осложнения, такие как цитокиновый шторм и другие воспалительные процессы, приводящие к повышению заболеваемости и чрезмерной смертности [35]. Исходя из анализа литературных данных, многокомпонентный состав пищевой добавки «Золото Императора. Иммунитет» может оказывать иммуномодулирующее действие.

Цель исследования – провести опыт по изучению биологически активной добавки на основе глицинозида шестилетнего корня женьшеня в отношении вируса инфекционного бронхита кур.

Задачи исследования:

1. Провести патологоанатомический скрининг полученных данных после моделирования ИБК.
2. Изучить количество вирусных частиц ИБК в контрольной и опытных группах в тимусе, легких и кишечнике.
3. Изучить уровень экспрессии генов NF-κB, IL-6, Caspase-3 у кур в тимусе, легких и кишечнике при моделировании ИБК.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опыты были проведены на базе Института экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока СФНЦА РАН. Были сформированы одна зараженная контрольная группа и две опытные группы (профилактическая и лечебная), группы формировались по принципу аналогов. Масса петушков кросса Shaver 150 г. Водопотребление – 42 мл на голову. Потребление корма – 22 г на голову в день.

Для выпаивания пищевой добавки в эксперименте готовили суспензию. Дозировка вычислялась из расчета 14 г в сутки на человека весом 70 кг. Петушки получали 30 мг на одну голову в виде суспензии 200 мкл перорально, индивидуально. Петушки в возрасте 21 день были вакцинированы против ИБК (вакцина против ИБК Нобилис IB Ma5 живая сухая). Производитель Интервет Интернешнл В.Б. Вакцину вводили перорально, индивидуально – 10 доз на голову.

Проводили вскрытие птиц, оценивали состояние внутренних органов, обращая внимание на характерные изменения. После чего проводили забор патологического материала для изучения концентрации вируса в органах (тимус, легкие, кишечник).

РНК из патологического материала выделяли методом фенол-хлороформной экстракции. Для проведения ПЦР в режиме реального времени методом обратной транскрипции одноцепочечная молекула РНК была переведена в комплементарную ДНК (кДНК). Метод постановки ПЦР с проведением обратной транскрипции РНК в кДНК носит название ПЦР с обратной транскрипцией (ОТ-ПЦР)

ОТ-ПЦР проводили в конечном объеме 20 мкл, содержащем 67 mM трис- HCl (pH 8,9), 16 mM $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 2,4 mM MgCl_2 ; 0,01% Твин 20; 0,2 mM дНТФ; 0,3 мкМ растворы олигонуклеотидных праймеров 5'-atgctcaacctgtgccttagca-3' 5'-tcaaactgcggatcatcacgt-3', и зонда FAM-tggaagtagagtgcgcccac-BHQ, 1–2 ед. HotStart Taq-ДНК полимеразы. ПЦР проводили на амплификаторе CFX (BioRad) по следующей программе: начальная денатурация – 95 °C 10 мин, далее 40 циклов: денатурация – 95 °C 12 с, отжиг – 60 °C 35 с, элонгация – 72 °C 0,05 с.

Контроль выделяемости РНК из образцов проводили с использованием ПЦР в режиме путем оценки экспрессии гена Burg (*Gallus gallus*) по протоколу, указанному выше, с использованием следующих праймеров и зон-

да: Burg2 5'-acttaccaccagccttctccat-3'; Burg1 5'-cgtgaccccgcaacatcaa-3'; Burg3 FAM-5'-tgagtgccactggtgtcttcacc-3' BHQ2.

Оценку уровня экспрессии генов интерлейкина 6, Caspase-3, NFkB, а также количественное определение уровня вируса ИБК проводили методом количественной ПЦР с использованием праймеров и зондов, представленных в таблице.

Для расчета относительной кратности экспрессии генов в образцах при выполнении полимеразной цепной реакции в реальном времени пользовались методом дельта-дельта Ct ($2^{\Delta\Delta Ct}$), количественную оценку экспрессии проводили относительно уровня экспрессии генов Burg (Gallus gallus) [36].

Структуры олигонуклеотидных праймеров и зондов для проведения ПЦР в режиме реального времени
Structures of oligonucleotide primers and probes for real-time PCR

Интерлейкин	Праймер	Источник	Режим амплификации			
IBV	5'-atgtctaacctgtccctagc-3' 5'-tcaaaactgcggatcacg-3'	[39]	1	95 °C	7 мин	1 цикл
			2	95 °C	15 с	40 циклов
			3	60,0 °C	35 с	
	5'-[FAM]-tggaagtagagtgcgcccac-3'	[39]	4	72 °C	10 с	
IL-6	5'-aaatccctcctcgccaatct-3' 5'-ccctcacggtcttctccataaa-3'	[37]	1	95 °C	7 мин	1 цикл
Caspase-3	5'-ccaccgagataccggactgt-3' 5'-aactgcttcgcttgctgtga-3'	[38]	2	95 °C	15 с	39 циклов
NFkB	5'-tcaacgcaggacctaaagacat-3' 5'-gcagatagccaagttcaggatg-3'	[38]	3	64,5 °C	30 с	
END.						

Полученные результаты подвергали статистической обработке при помощи программного обеспечения Microsoft Excel.

Данные обрабатывали методами вариационной и непараметрической статистики.

Статистические расчеты производили с использованием непараметрического метода анализа χ^2 Пирсона. Было проведено сравнение каждой из опытных групп с интактным контролем для обнаружения связи между результатами, полученными в группах, с целью установления наличия статистической значимости полученных результатов. Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По результатам патологоанатомического вскрытия поражения внутренних органов встречались во всех группах. При вскрытии обращали особое внимание на изменения в тимусе, легких, кишечнике, печени и почках. На поверхности тимуса наблюдались как единичные, так и множественные точечные кровоизлияния (рис. 1).

Воспаление мозговой зоны тимуса также патогномонично для коронавирусной инфекции кур.

В легких сосуды кровенаполнены, легочная ткань гиперемирована, отечна, встречаются инфаркты (рис. 2). В профилактической группе легкие менее гиперемированы (рис. 3). Во всех группах встречались характерные для ИБК изменения в печени – васкулиты и жировая дистрофия, наиболее ярко они выражены в лечебной группе.

В лечебной группе инфекционный процесс протекал наиболее остро с характерной патологоанатомической картиной. Это также подтверждает наличие дистрофических изменений в почках и правостороннего миокардита, сопровождающегося миогенной дилатацией правого предсердия на фоне артериальной гипертензии (см. рис. 2). Правосторонние нарушения в сердце являются следствием попадания вирусного агента из кишечника. В кишечнике очаги изменений имели треугольную и ромбовидную форму, что указывает на гематогенный занос инфекционного агента. Тонкий отдел кишечника гиперемирован, толстый отдел кишечника без изменений (см. рис. 1).

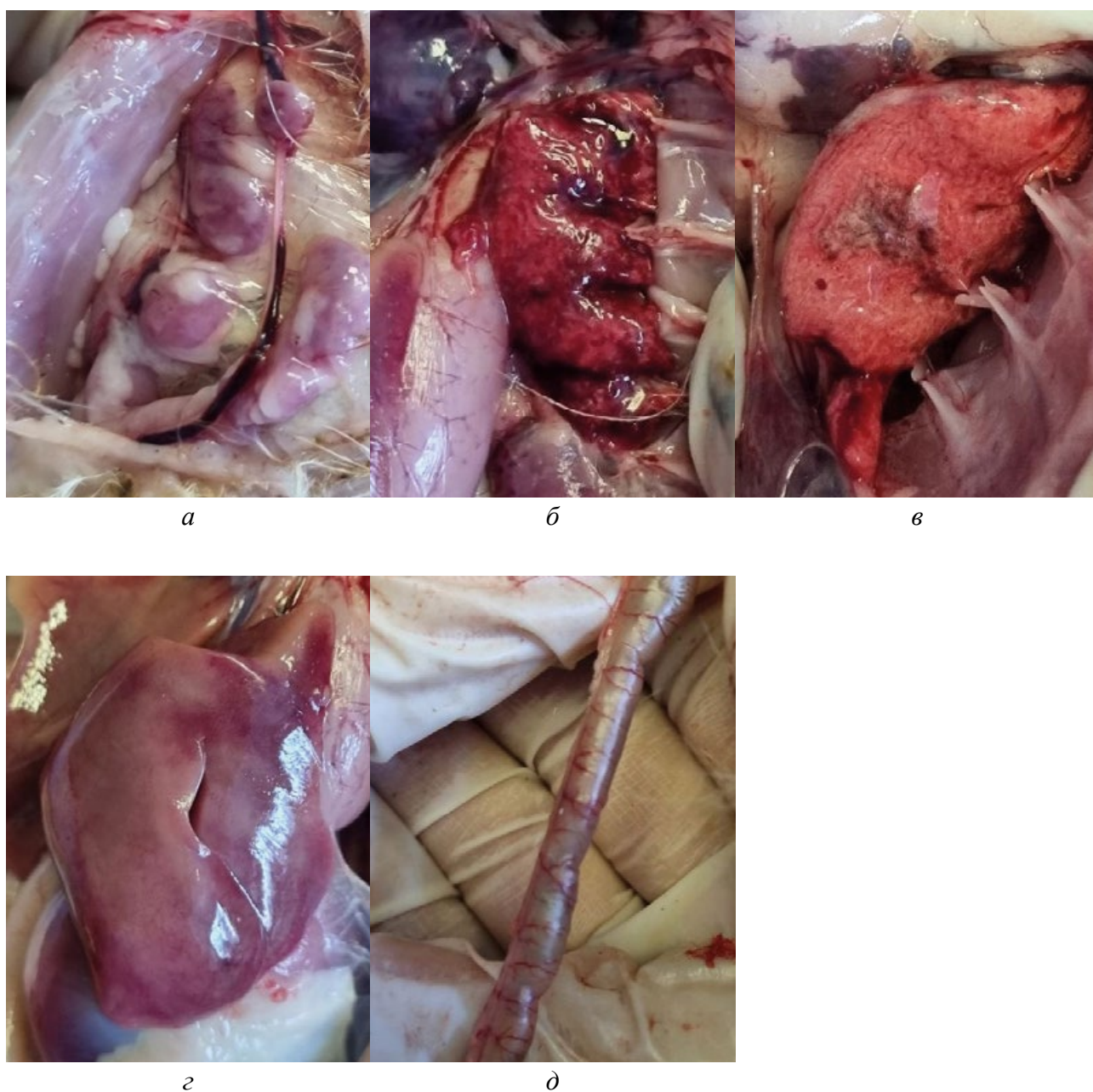
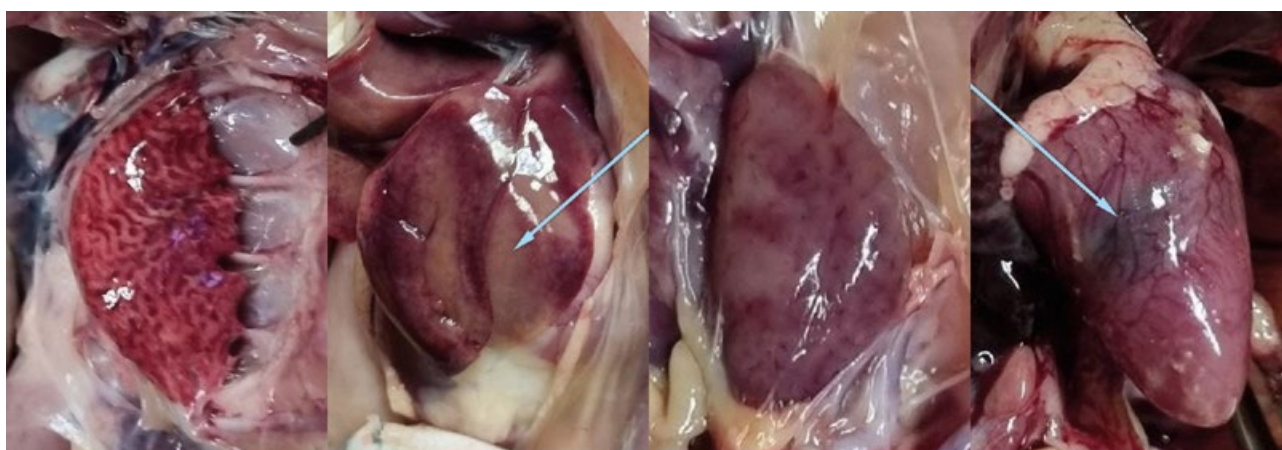


Рис. 1. Результаты вскрытия в контрольной группе: а – точечные кровоизлияния в тимусе; б – серозное воспаление легких; в – очаг инфаркта в легком; г – жировая дистрофия печени; д – переполнение кровью сосудов в стенке кишечника

Autopsy results, control group: *a* – pinpoint hemorrhages in the thymus; *b* – serous pneumonia; *c* – infarction in the lung; *g* – fatty liver; *d* – overflow of blood vessels in the intestinal wall



a

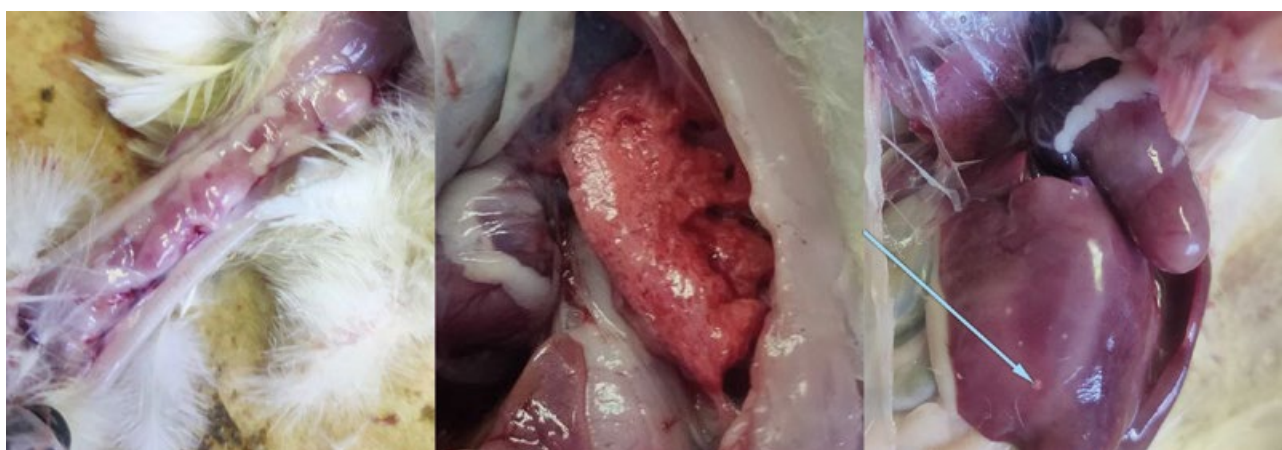
б

в

г

Рис. 2. Результаты вскрытия в лечебной группе: а – «карминовое» легкое; б – васкулиты в печени, жировая дистрофия; в – «тигровая почка»; г – миогенная дилатация правого предсердия

Autopsy results, treatment group: *a* – “Carmine” lung; *b* – vasculitis in the liver, fatty degeneration; *c* – “tiger kidney”; *d* – myogenic dilation of the right atrium



a

б

в

Рис. 3. Результаты вскрытия при использовании добавки с профилактической целью: а – точечные кровоизлияния в тимусе; б – гиперемия легкого; в – сосудистые нарушения в печени, белые узелки как признак вторичной бактериальной инфекции

Autopsy results when using the supplement for preventive purposes: *a* – spot hemorrhages in the thymus; *b* – pulmonary hyperemia; *c* – vascular disorders in the liver, white nodules as a sign of a secondary bacterial infection

В лабораторных условиях удалось смоделировать инфекционный процесс, что подтверждает яркая патогномоничная картина ИБК. Наиболее выраженные изменения встречались в группе, в которой птице препарат выпаивался с лечебной целью. Данный факт может указывать на активацию иммунного ответа компонентами экспериментальной добавки и, как следствие, проявление более выраженной воспалительной реакции организма в ответ на действие инфекционного агента. В опытной группе, в которой исследуемая биологически активная добавка задавалась перед введением инфекционного агента (с профилактической целью), воспалительные процессы были

менее выражены, что может свидетельствовать о положительном профилактическом действии на организм.

Была проведена оценка встречаемости генной РНК вируса ИБК во всех исследуемых образцах опытных групп и контрольной группы. Установлено, что наибольшее количество положительных проб встречалось при исследовании концентрации вируса ИБК в тонком отделе кишечника лечебной группы, что подтверждает нашу гипотезу о репликации вирусных частиц в кишечнике и последующем попадании в легкие (рис. 4).

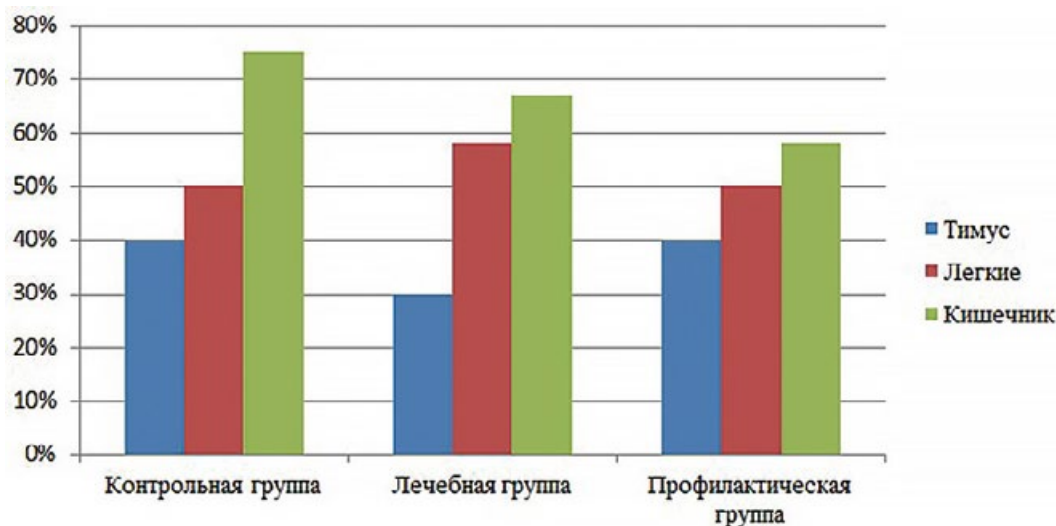


Рис. 4. Количество положительных проб, %
The number of positive samples, %

В контрольной группе количество вирусных частиц превалировало в тимусе, что может свидетельствовать об активном влиянии вируса на начальном этапе на иммунитет и дальнейшее усугубление течения инфекционного процесса. В лечебной группе, напротив, тимус является наиболее инфицированным очагом, что повлечет за собой подавление гуморального иммунитета и

меньшую реакцию на циркулирующие вирусные агенты в организме. В профилактической группе за счет применения пищевой добавки до момента попадания вируса в организм удалось предотвратить влияние на тимус, тем самым спрогнозировать более сглаженное течение коронавирусной инфекции (рис. 5).

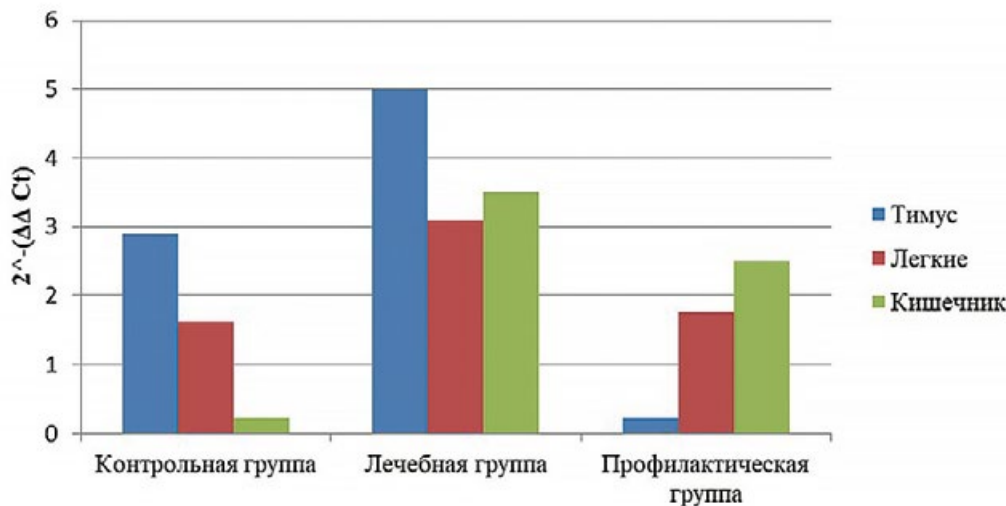


Рис. 5. Концентрация геномной РНК вируса ИБК в органах контрольной и опытных групп, $\Delta\Delta Ct$ (относительно Burg)

Concentration of genomic RNA of IBC virus in organs of control and experimental groups, $\Delta\Delta Ct$ (relative to Burg)

За счет отсутствия подавления вируса в тимусе в лечебной группе наблюдается системная циркуляция вирусных частиц во всем организме. В профилактической группе выпаивание добавки также приводит к поражению вирусом ИБК как в кишечнике, так и в легких, в большей степени относительно контрольной группы.

Caspase-3 запускает пироптоз клеток – вид программируемой некротической гибели клетки, при котором происходит нарушение целостности плазматической мембраны и быстрое высвобождение наружу содержимого клетки. Пироптоз служит защитным механизмом врожденного иммунитета, ограничивающим размножение

внутриклеточных патогенов. В случае подавления данного интерлейкина это не всегда может свидетельствовать о позитивном характере. При экспрессии caspase-3 происходит разрушение не только пораженных вирусом клеток, но и здоровых. В момент, когда вирусные антигены встречается с толл-подобными рецепторами, активируется NF-kB, который, в свою очередь, является пусковым механизмом как для врожденного иммунного ответа (миграция макрофагов и др.), так и для адаптивного иммунитета (выработка антител, формирование Т-клеток). NF-kB – наиболее ранний фактор, наиболее активно эксплуатируется при коронавирусных инфекциях. Это проявляется аномально длительной миграцией нейтрофилов, гранулоцитов в очаг воспаления, их активизацией, а также повышенной пролиферацией, в то время как при обычной инфекции имеется лишь короткий период, когда нейтрофилы осуществляют борьбу с первичным очагом заражения. Этот механизм может впоследствии привести к лейкотриеновому шторму, в дальнейшем – к цитокиновому.

Интерлейкин-6 является провоспалительным цитокином и его количество напрямую влияет на развитие цитокинового шторма. IL-6 создает

в организме условия сверхнагрузки иммунной системы и возникает два пути развития: элиминация возбудителя в полной мере или усиленная воспалительная реакция организма.

Выраженная экспрессия caspase-3 свидетельствует о наиболее активном разрушении клеток в тимусе в профилактической группе, что вызывает активацию иммунного ответа. При этом происходит разрушение не только клеток, пораженных вирусом, но и частично здоровых клеток. Подавление NF-kB в опытных группах свидетельствует о сниженной пролиферации нейтрофилов и гранулоцитов и несвоевременном их попадании в очаг воспаления. Повышенная экспрессия интерлейкина-6 в контрольной группе взаимосвязана с полученными патологоанатомическими данными: в тимусах встречались точечные кровоизлияния, гиперемия и поражение преимущественно мозговой зоны (см. рис. 3). Снижение экспрессии интерлейкина-6 в лечебной группе привело к приостановке воспалительных реакций и подавлению механизмов борьбы организма с вирусом в тимусе, где происходит основная выработка активных Т-лимфоцитов для борьбы с инфекцией (рис. 6).

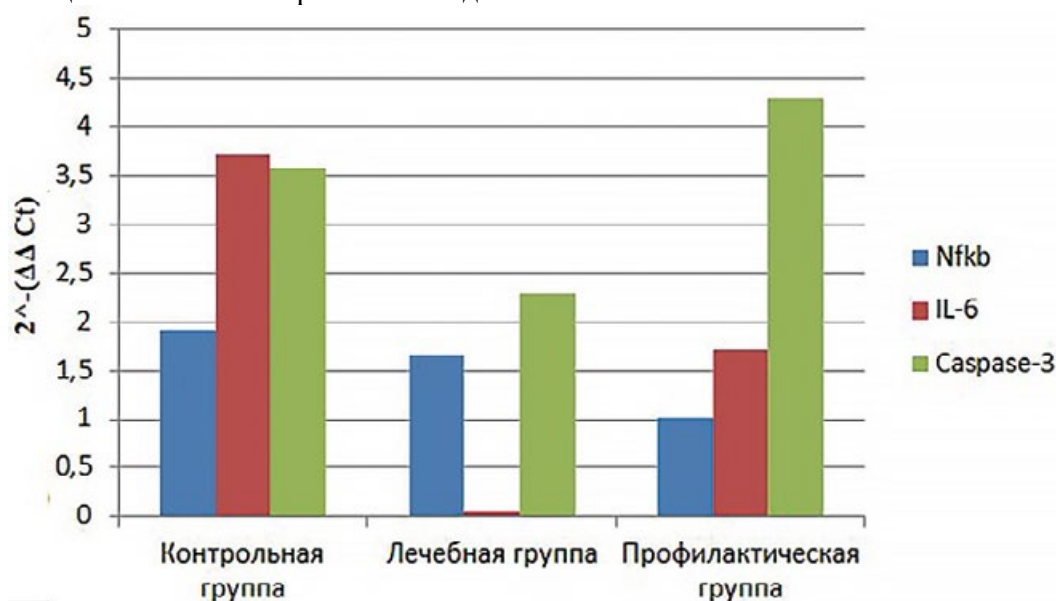


Рис. 6. Экспрессия генов в легких птицы опытных и контрольной групп, $2^{-(\Delta\Delta Ct)}$ (относительно Burg)
Gene expression in the lungs of birds of the experimental and control groups, $2^{-(\Delta\Delta Ct)}$ (relative to Burg)

В кишечнике контрольной и лечебной групп наблюдается повышенная экспрессия интерлейкина-6, что вызывает активизацию цитокинового шторма. Происходит разрушение тканей очага воспаления (в кишечнике), одновременно реак-

ция распространяется на соседние ткани и по мере развития приобретает системный характер, охватывая весь организм в целом. Часто данная картина заканчивается летальным исходом для организма (рис. 7).

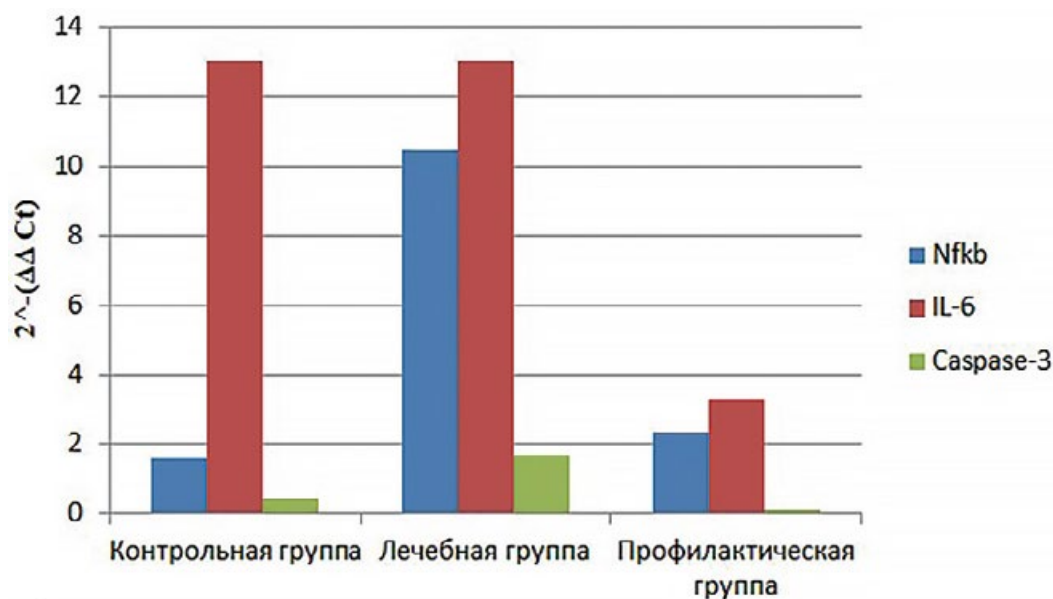


Рис. 7. Экспрессия генов в кишечнике у птицы опытных и контрольной групп, $2^{-(\Delta\Delta Ct)}$ (относительно Burg)
Gene expression in the intestines of poultry in the experimental and control groups, $2^{-(\Delta\Delta Ct)}$ (relative to Burg)

Умеренная экспрессия Nf-kB и интерлейкина-6 в профилактической группе свидетельствует о подавлении воспаления в кишечнике, но при этом мы наблюдаем достаточно выраженную реакцию в легких. При прогнозировании течения вирусной патологии для организма может стать наиболее благоприятным подавление воспаления именно в кишечнике, так как там происходит репликация вируса. Чем больше будет подавлено вируса в кишечнике, тем меньше его попадет в легкие и далее по малому кругу кровообращения.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Есть научно подтвержденные данные исследований, продемонстрировавшие, что иммуностимулирующие функции женьшеня могут быть обусловлены действием его полисахаридов [40]. Добавление в рацион свиноматок полисахаридов, полученных из корня женьшеня, влияет на их иммунную функцию, а затем улучшает иммунную функцию и рост поросят [41]. Кроме того, было обнаружено, что полисахариды и сапонин (биологически активный компонент красного женьшеня) оказывают положительное влияние на иммунную функцию, что открывает перспективы для использования в качестве иммуномодуляторов [42]. Данные исследования сопоставимы с полученными данными.

Разные результаты, полученные в ходе различных исследований, объясняются тем, что источники женьшеня, полученные разными

методами, могут различаться по структуре, химическому составу или и тому, и другому, что может влиять на его активность и количество, которое необходимо добавлять для достижения стимуляции [43].

ВЫВОДЫ

1. Уровень экспрессии генов провоспалительных и противовоспалительных цитокинов (caspase-3, Nf-kB, IL-6) свидетельствует об иммуностимулирующем действии биологически активной добавки «Золото Императора. Иммуни-тет» при использовании с профилактической целью.

2. Для фармакопрофилактики ИБК представляется перспективным применение биологически активной добавки «Золото Императора. Иммуни-тет» в период, предшествующий формированию поствакцинального иммунитета.

3. Выраженная экспрессия caspase-3 свидетельствует о наиболее активном разрушении клеток в тимусе в профилактической группе, что вызывает активацию иммунного ответа и способствует гибели не только клеток, пораженных вирусом, но и частично здоровых клеток.

4. Применение добавки «Золото Императора. Иммуни-тет» спровоцировало более интенсивную выработку провоспалительных цитокинов в легких в опытных группах, о чем говорит повышенный уровень NF-kB, IL-6 в лечебной группе (большее количество Т-хелперов встречаются с вирусными частицами) и caspase-3 в профи-

лактической группе (большая интенсивность разрушения клеток легких).

В кишечнике контрольной и лечебной групп наблюдалась повышенная экспрессия интерлей-

кина-6, что, в свою очередь, способствует активизации цитокинового шторма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов А.В., Борисов В.В. Инфекционный бронхит кур: особенности эпизоотологии и профилактики // Farm Animals. – 2014. – № 5. – С. 72–74.
2. Борисов А.В., Ключевский В.В., Ирза В.Н. Инфекционный бронхит кур: актуальные вопросы клиники, диагностики и профилактики // БИО. – 2018. – № 4 (211). – С. 35–38.
3. Изучение защитных эффектов виروцидных препаратов на модели коронавирусной пневмонии / Т.Е. Миронова, В.Н. Афонюшкин, Ю.Н. Козлова [и др.] // Ветеринария и кормление. – 2020. – № 7. – С. 35–38.
4. The infectious bronchitis coronavirus pneumonia model presenting a novel insight for the SARS-CoV-2 dissemination route / E. Nefedova [et al.] // Veterinary Sciences. – 2021. – Vol. 8, № 10. – P. 239.
5. Афонюшкин В.Н. Возможный патогенез коронавирусных инфекций на примере ИБК в качестве модели инфекции, ассоциированной с CoVid-19 у людей // БИО. – 2020. – № 4. – С. 4–6.
6. Cavanagh D. Coronaviruses in poultry and other birds. Avian Pathol. – 2005. – № 34. – P. 439–448.
7. Development and evaluation of a real-time Taqman RT-PCR assay for the detection of infectious bronchitis virus from infected chickens / S.A. Callison, D.A. Hilt, T.O. Boynton [et al.] // J Virol Methods. – 2006. – Vol. 138. – P. 60–65. – DOI: 10.1016/j.jviromet.2006.07.018.
8. Fabricant J. The early history of infectious bronchitis. Avian Dis. – 1998. – Vol. 42. – P. 648–650.
9. Фисинин В.И., Сурай П.Н. Кишечный иммунитет у птиц: факты и размышления // Сельскохозяйственная биология. – 2013. – № 4. – С. 3–17.
10. Single cell RNA sequencing of 13 human tissues identify cell types and receptors of human coronaviruses / F. Qi [et al.] // Biochemical and biophysical research communications. – 2020. – Vol. 526, №. 1. – P. 135–140.
11. Проект Атласа человеческого белка, финансируемый Фондом Кнута и Алисы Валленберг. URL: <https://www.proteinatlas.org/ENSG00000130234-ACE2> (дата обращения: 07.09.2025).
12. SARS-CoV-2 productively infects human gut enterocytes / M.M. Lamers [et al.] // Science. – 2020. – Vol. 369, № 6499. – P. 50–54.
13. SARS-CoV-2 engages inflammasome and pyroptosis in human primary monocytes / A.C. Ferreira [et al.] // Cell death discovery. – 2021. – Vol. 7, № 1. – P. 43.
14. Vora S. M., Lieberman J., Wu H. Inflammasome activation at the crux of severe COVID-19 // Nature Reviews Immunology. – 2021. – Vol. 21, № 11. – P. 694–703.
15. SARS-CoV-2 infects blood monocytes to activate NLRP3 and AIM2 inflammasomes, pyroptosis and cytokine release / C. Junqueira [et al.] // Research square. – 2021. – DOI: 10.21203/rs.3rs-153628/v1.
16. Cytokine release syndrome / A. Shimabukuro-Vornhagen [et al.] // Journal for immunotherapy of cancer. – 2018. – Vol. 6, № 1. – P. 1–14.
17. Freeman T.L., Swartz T.H. Targeting the NLRP3 inflammasome in severe COVID-19 // Frontiers in immunology. – 2020. – Vol. 11. – P. 1518. – DOI: 10.3389/fimmu.2020.01518.
18. Return-to-work, disabilities and occupational health in the age of COVID-19 / D. Godeau [et al.] // Scandinavian journal of work, environment & health. – 2021. – Vol. 47, № 5. – P. 408.
19. Merad M., Martin J.C. Pathological inflammation in patients with COVID-19: a key role for monocytes and macrophages // Nature reviews immunology. – 2020. – Vol. 20, № 6. – P. 355–362.
20. Dampened NLRP3-mediated inflammation in bats and implications for a special viral reservoir host / M. Ahn [et al.] // Nature microbiology. – 2019. – Vol. 4, № 5. – P. 789–799.
21. Jung E.M., Lee G.S. Korean Red Ginseng, a regulator of NLRP3 inflammasome, in the COVID-19 pandemic // Journal of Ginseng Research. – 2022. – Vol. 46, № 3. – P. 331–336.
22. Anugrah R., Mumtaz R.K., Suryasaputra D. Study In-Silico Oleanane Triterpenoids in Aquilaria spp. as a Covid-19 Antiviral // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2022. – Vol. 1104, № 1. – P. 012027.
23. Луницын В.Г., Володкина А.И. Биохимический состав пантов марала // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2007. – № 10 (178). – P. 45–49.
24. Панты марала: история их применения, состав, препараты, получение, показания к применению / Н.О. Михайлов [и др.] // Многопрофильный стационар. – 2019. – Т. 6, № 1. – С. 85–87.
25. ω -3 Fatty Acids Infusions as Adjuvant Therapy in Rheumatoid Arthritis / B. Bahadori [et al.] // Journal of Parenteral and Enteral Nutrition. – 2010. – Vol. 34, № 2. – P. 151–155.

26. *Calder P.C.* Polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: New twists in an old tale // *Biochimie*. – 2009. – Vol. 91, № 6. – P. 791–795.
27. Противовоспалительное и анальгетическое действие полярных липидов пантов марала и торфа при экспериментальном воспалении / А.И. Венгеровский [и др.] // *Бюллетень сибирской медицины*. – 2012. – Т. 11, № 6. – С. 31–35.
28. *Duthie G., Crozier A.* Plant-derived phenolic antioxidants // *Current opinion in lipidology*. – 2000. – Vol. 11, № 1. – P. 43–47.
29. Эффективность применения пантов марала в коррекции иммунной дисфункции у спортсменов / С.В. Верещагина [и др.] // *Современные вопросы биомедицины*. – 2021. – Т. 5, № 4 (17). – С. 10–18.
30. *Berry* derived constituents in suppressing viral infection: Potential avenues for viral pandemic management / P. Shahagadkar [et al.] // *Clinical Nutrition ESPEN*. – 2021. – Т. 46. – С. 14–20.
31. *Turmeric* root and its bioactive ingredient curcumin effectively neutralize SARS-CoV-2 in vitro / M. Bormann [et al.] // *Viruses*. – 2021. – Vol. 13, № 10. – P. 1914.
32. *Gombart A.F., Pierre A., Maggini S.* A review of micronutrients and the immune system—working in harmony to reduce the risk of infection // *Nutrients*. – 2020. – Т. 12, № 1. – P. 236.
33. Association of fat-soluble vitamins (A, D, and E) status with humoral immune response to COVID-19 inactivated vaccination / Y. Deng [et al.] // *Frontiers in Nutrition*. – 2023. – Vol. 10. – P. 1167920.
34. Fat-soluble vitamins and the current global pandemic of COVID-19: Evidence-based efficacy from literature review / N. Samad [et al.] // *Journal of inflammation research*. – 2021. – Vol. 14. – P. 2091.
35. Изучение экспрессии функционально-значимых генов при терапии коронавирусной инфекции у цыплят / А.С. Бобикова, В.С. Черепушкина, Т.Е. Миронова [и др.] // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2021. – № 51 (5). – P. 68–76. – DOI: 10.26898/0370-8799-2021-5-8.
36. *Baicalin* alleviates lipopolysaccharide-induced liver inflammation in chicken by suppressing TLR4-mediated NF-κB pathway / P. Cheng [et al.] // *Frontiers in pharmacology*. – 2017. – Vol. 8. – P. 547. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphar.2017.00547/full> (дата обращения: 10.08.2025).
37. Analysis of chicken macrophage functions and gene expressions following infectious bronchitis virus M41 infection / X. Sun [et al.] // *Veterinary research*. – 2021. – Vol. 52, № 1. – P. 1–15. – URL: <https://veterinaryresearch.biomed-central.com/articles/10.1186/s13567-021-00896-z> (дата обращения: 08.09.2025).
38. Изучение противовоспалительной эффективности препарата доксициклина гиклата (доксатиб®) компании KRKA, d. d. в отношении инфекционного бронхита кур / В.Н. Афонюшкин, А.С. Бобикова, Т.Е. Миронова [и др.] // *Ветеринария и кормление*. – 2022. – № 2. – С. 11–16. – DOI: 10.30917/АГТ-VK-1814-9588-2022-2-3.
39. *Choi Y.D., Xin Z.C., Choi H.K.* Effect of Korean red ginseng on the rabbit corpus cavernosal smooth muscle // *Int J Impot Res*. – 1998. – Vol. 10. – P. 37–43.
40. Effect of ginseng polysaccharides on the immunity and growth of piglets by dietary supplementation during late pregnancy and lactating sows / Q.Y. Xi, Y. Jiang, S. Zhao [et al.] // *Anim Sci J*. – 2017. – Vol. 88. – P. 863–872.
41. Activation of multiple effector pathways of immune system by the antineoplastic immunostimulator acidic polysaccharide ginsan isolated from *Panax ginseng* / Y.S. Lee, I.S. Chung, I.R. Lee [et al.] // *Anticancer Res*. – 1997. – Vol. 17. – P. 323–331.
42. *Ilsley S.E., Miller H.M., Kamel C.* Effects of dietary quillaja saponin and curcumin on the performance and immune status of weanling piglets // *J Anim Sci*. – 2005. – Vol. 83. – P. 82–88.
43. *Ao X., Meng Q.W., Kim I.H.* Effects of fermented red ginseng supplementation on growth performance, apparent nutrient digestibility, blood hematology and meat quality in finishing pigs // *Asian Austral J Anim Sci*. – 2011. – Vol. 24. – P. 525–531.
44. β -glucan from mulberry leaves and curcuma can improve growth performance and nutrient digestibility in early weaned pigs / S.I. Lee, J.K. Kim, J.D. Hancock, I.H. Kim // *J Appl Anim Res*. – 2016. – Vol. 45. – P. 209–214.

REFERENCES

1. Borisov A.V., Borisov V.V., *Farm Animals*, 2014, No. 5, pp. 72–74. (In Russ.)
2. Borisov A.V., Klyuchevsky V.V., Irza V.N., *BIO*, 2018, No. 211, pp. 35–38. (In Russ.)
3. Mironova T.E. i dr., *Veterinariya i kormlenie*, 2020, No. 7, pp. 35–38. (In Russ.)
4. Nefedova E. et al., The infectious bronchitis coronavirus pneumonia model presenting a novel insight for the SARS-CoV-2 dissemination route, *Veterinary Sciences*, 2021, Vol. 8, No. 10, pp. 239.
5. Afonyushkin V.N., *BIO*, 2020, No. 4, pp. 4–6. (In Russ.)
6. Cavanagh D., Coronaviruses in poultry and other birds, *Avian Pathol*, 2005, No. 34, pp. 439–448.
7. Callison S.A., Hilt D.A., Boynton T.O. et al., Development and evaluation of a real-time Taqman RT-PCR assay for the detection of infectious bronchitis virus from infected chickens, *J Virol Methods*, 2006, Vol. 138, pp. 60–65, DOI: 10.1016/j.jviromet.2006.07.018.

8. Fabricant J., The early history of infectious bronchitis, *Avian Dis*, 1998, Vol. 42, pp. 648–650.
9. Fisinin V.I., Suraj P.N., *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, 2013, No. 4, pp. 3–17. (In Russ.)
10. Qi F. et al., Single cell RNA sequencing of 13 human tissues identify cell types and receptors of human coronaviruses, *Biochemical and biophysical research communications*, 2020, Vol. 526, No. 1, pp. 135–140.
11. Proekt Atlasa chelovecheskogo belka, finansiruemyj Fondom Knuta i Alisy Vallenberg. URL: <https://www.proteinatlas.org/ENSG00000130234-ACE2>. (In Russ.)
12. Lamers M.M. et al., SARS-CoV-2 productively infects human gut enterocytes, *Science*, 2020, Vol. 369, No. 6499, pp. 50–54.
13. Ferreira A.C. et al., SARS-CoV-2 engages inflammasome and pyroptosis in human primary monocytes, *Cell death discovery*, 2021, Vol. 7, No. 1, pp. 43.
14. Vora S.M., Lieberman J., Wu H., Inflammasome activation at the crux of severe COVID-19, *Nature Reviews Immunology*, 2021, Vol. 21, No. 11, pp. 694–703.
15. Junqueira C. et al., SARS-CoV-2 infects blood monocytes to activate NLRP3 and AIM2 inflammasomes, pyroptosis and cytokine release, *Research square*, 2021, DOI: 10.21203/rs.3rs-153628/v1.
16. Shimabukuro-Vornhagen A. et al., Cytokine release syndrome, *Journal for immunotherapy of cancer*, 2018, Vol. 6, No. 1, pp. 1–14.
17. Freeman T.L., Swartz T.H., Targeting the NLRP3 inflammasome in severe COVID-19, *Frontiers in immunology*, 2020, Vol. 11, pp. 1518, DOI: 10.3389/fimmu.2020.01518.
18. Godeau D. et al., Return-to-work, disabilities and occupational health in the age of COVID-19, *Scandinavian journal of work, environment & health*, 2021, Vol. 47, No. 5, pp. 408.
19. Merad M., Martin J.C., Pathological inflammation in patients with COVID-19: a key role for monocytes and macrophages, *Nature reviews immunology*, 2020, Vol. 20, No. 6, pp. 355–362.
20. Ahn M. et al., Dampened NLRP3-mediated inflammation in bats and implications for a special viral reservoir host, *Nature microbiology*, 2019, Vol. 4, No. 5, pp. 789–799.
21. Jung E.M., Lee G.S., Korean Red Ginseng, a regulator of NLRP3 inflammasome, in the COVID-19 pandemic, *Journal of Ginseng Research*, 2022, Vol. 46, No. 3, pp. 331–336.
22. Anugrah R., Mumtaz R.K., Suryasaputra D., Study In-Silico Oleanane Triterpenoids in *Aquilaria* spp. as a Covid-19 Antiviral, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *IOP Publishing*, 2022, Vol. 1104, No. 1, pp. 012027.
23. Lunicyn V.G., Volodkina A.I., *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki*, 2007, No. 10 (178), pp. 45–49. (In Russ.)
24. Mihajlov N.O. i dr., *Mnogoprofil'nyj stacionar*, 2019, Vol. 6, No. 1, pp. 85–7. (In Russ.)
25. Bahadori B. et al., ω -3 Fatty Acids Infusions as Adjuvant Therapy in Rheumatoid Arthritis, *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 2010, Vol. 34, No. 2, pp. 151–155.
26. Calder P.C., Polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: New twists in an old tale, *Biochimie*, 2009, Vol. 91, No. 6, pp. 791–795.
27. Vengerovskij A.I. i dr., Protivovospalitel'noe i anal'geticheskoe dejstvie polyarnyh lipidov pantov marala i torfa pri eksperimental'nom vospalenii, *Byulleten' sibirskoj mediciny*, 2012, Vol. 11, No. 6, pp. 31–35. (In Russ.)
28. Duthie G., Crozier A., Plant-derived phenolic antioxidants, *Current opinion in lipidology*, 2000, Vol. 11, No. 1, pp. 43–47.
29. Vereshchagina S.V. i dr., *Sovremennye voprosy biomediciny*, 2021, Vol. 5, No. 4 (17), pp. 10–18. (In Russ.)
30. Shahagadkar P. et al., Berry derived constituents in suppressing viral infection: Potential avenues for viral pandemic management, *Clinical Nutrition ESPEN*, 2021, Vol. 46, pp. 14–20.
31. Bormann M. et al., Turmeric root and its bioactive ingredient curcumin effectively neutralize SARS-CoV-2 in vitro, *Viruses*, 2021, Vol. 13, No. 10, pp. 1914.
32. Gombart A.F., Pierre A., Maggini S., A review of micronutrients and the immune system—working in harmony to reduce the risk of infection, *Nutrients*, 2020, Vol. 12, No. 1, pp. 236.
33. Deng Y. et al., Association of fat-soluble vitamins (A, D, and E) status with humoral immune response to COVID-19 inactivated vaccination, *Frontiers in Nutrition*, 2023, Vol. 10, pp. 1167920.
34. Samad N. et al., Fat-soluble vitamins and the current global pandemic of COVID-19: Evidence-based efficacy from literature review, *Journal of inflammation research*, 2021, Vol. 14, pp. 2091.
35. Bobikova A.S., CHerepushkina V.S., Mironova T.E., Afonyushkin V.N., Donchenko N.A., Nefedova E.V., Fudi YA., Koptev V.YU., Fomenko V.V., *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki*, 2021, No. 51 (5), pp. 68–76, DOI: 10.26898/0370-8799-2021-5-8. (In Russ.)
36. Cheng P. et al., Baicalin alleviates lipopolysaccharide-induced liver inflammation in chicken by suppressing TLR4-mediated NF- κ B pathway, *Frontiers in pharmacology*, 2017, Vol. 8, pp. 547, URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphar.2017.00547/full>.
37. Sun X. et al., Analysis of chicken macrophage functions and gene expressions following infectious bronchitis virus M41 infection, *Veterinary research*, 2021, Vol. 52, No. 1, pp. 1–15, URL: <https://veterinaryresearch.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13567-021-00896-z>.
38. Afonyushkin V.N., Bobikova A.S., Mironova T.E., CHerepushkina V.S., SHtepa V.N., *Veterinariya i kormlenie*, 2022, No. 2, pp. 11–16, DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-2-3. (In Russ.)

39. Choi Y.D., Xin Z.C., Choi H.K., Effect of Korean red ginseng on the rabbit corpus cavernosal smooth muscle, *Int J Impot Res*, 1998, Vol. 10, pp. 37–43.
40. Xi Q.Y., Jiang Y., Zhao S., Zeng B., Wang F., Wang L.N., Jiang Q.Y., Zhang Y.L., Effect of ginseng polysaccharides on the immunity and growth of piglets by dietary supplementation during late pregnancy and lactating sows, *Anim Sci J*, 2017, No. 88, pp. 863–872.
41. Lee Y.S., Chung I.S., Lee I.R., Kim K.H., Hong W.S., Yun Y.S., Activation of multiple effector pathways of immune system by the antineoplastic immunostimulator acidic polysaccharide ginsan isolated from *Panax ginseng*, *Anticancer Res*, 1997, No. 17, pp. 323–331.
42. Ilsley S.E., Miller H.M., Kamel C., Effects of dietary quillaja saponin and curcumin on the performance and immune status of weanling piglets, *J Anim Sci*, 2005, No. 83, pp. 82–88.
43. Ao X., Meng Q.W., Kim I.H., Effects of fermented red ginseng supplementation on growth performance, apparent nutrient digestibility, blood hematology and meat quality in finishing pigs, *Asian Austral J Anim Sci*, 2011, Vol. 24, pp. 525–531.
44. Lee S.I., Kim J.K., Hancock J.D., Kim I.H., β -glucan from mulberry leaves and curcuma can improve growth performance and nutrient digestibility in early weaned pigs, *J Appl Anim Res*, 2016, Vol. 45, pp. 209–214.

Информация об авторах:

О.Ю. Леденева, кандидат ветеринарных наук, доцент, заведующий кафедрой ветеринарно-санитарной экспертизы, биологической и пищевой безопасности НГАУ

М.А. Ряснянский, преподаватель кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, биологической и пищевой безопасности НГАУ

Е.В. Дробот, кандидат биологических наук, доцент кафедры терапии, хирургии и акушерства НГАУ

Л.К. Герунова, доктор ветеринарных наук, профессор, кафедра диагностики, внутренних незаразных болезней, фармакологии, хирургии и акушерства факультета ветеринарной медицины ИВМиБ Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина

Т.В. Герунов, доктор ветеринарных наук, профессор, кафедра диагностики, внутренних незаразных болезней, фармакологии, хирургии и акушерства факультета ветеринарной медицины ИВМиБ Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина

Ким Хак Хен, директор малой технологической компании ИБК ООО «Золото Сахалина» – резидент фонда «Сколково»

Л.П. Ермакова, кандидат ветеринарных наук, заместитель директора по научной и инновационной работе малой технологической компании ИБК ООО «Золото Сахалина» – резидент фонда «Сколково»

А.С. Кильп (Бобикова), научный сотрудник ФГБУН «Сибирский федеральный центр агробиотехнологий СФНЦА РАН», Новосибирск

Contribution of the authors:

O.Yu. Ledeneva, candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Biological and Food Safety NGAU

M.A. Rysnyansky, lecturer at the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Biological and Food Safety NGAU

E.V. Drobot, candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Therapy, Surgery and Obstetrics NGAU

L.K. Gerunova, Dr. Veterinarian. Sciences', Professor, Department of Diagnostics, Internal Non-Infectious Diseases, Pharmacology, Surgery and Obstetrics, Faculty of Veterinary Medicine, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

T.V. Gerunov, Dr. Veterinarian. Sciences', Professor, Department of Diagnostics, Internal Non-Infectious Diseases, Pharmacology, Surgery and Obstetrics, Faculty of Veterinary Medicine, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

Kim Hak Hen, director of the small technology company IBK LLC "Gold of Sakhalin" – resident of the Skolkovo Foundation

L.P. Ermakova, candidate of Veterinary Sciences, Deputy Director for Scientific and innovative work of the small technological company IBK LLC "Gold of Sakhalin" – resident of the Skolkovo Foundation

A.S. Kilp, Researcher, Siberian Federal State Budgetary Scientific Institution Siberian Federal Center for Agrobiotechnology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

РАСПАД НЕРАВНОВЕСНОГО СЦЕПЛЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИИ МОЛОЧНОГО СКОТА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Г.А. Лиходеевский, О.А. Минина, П.С. Богатова, О.Е. Лиходеевская

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

E-mail: georglihodey@mail.ru

Для цитирования: Распад неравновесного сцепления в популяции молочного скота Свердловской области / Г.А. Лиходеевский, О.А. Минина, П.С. Богатова, О.Е. Лиходеевская // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 217–225. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-217-225.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, геномная селекция, голштинская порода, генетическая структура популяции, однонуклеотидные полиморфизмы, ДНК-биочип.

Реферат. В молочном скотоводстве Свердловской области за последние два десятилетия произошел породный переход от черно-пестрой породы к голштинской, что ставит вопрос о последствиях этого процесса для генома популяции. Анализ неравновесного сцепления является ключевым инструментом для оценки генетической структуры, эффективности геномной селекции и сохранения генетического разнообразия. В ходе сравнения двух поколений маточного поголовья Свердловской области установлено, что у молодой группы на 20–35 % более высокие значения неравновесного сцепления по сравнению со старшим поколением. Средние значения коэффициента детерминации (R^2) по геному составили 0,10 и 0,08, а нормализованного коэффициента (D') – 0,59 и 0,50 для младшего и старшего поколений соответственно. Несмотря на различия в средних значениях, общий паттерн распределения неравновесного сцепления по хромосомам сохраняется (коэффициент корреляции Спирмена $>0,94$). Максимумы неравновесного сцепления зафиксированы на хромосомах BTA14, BTA16 и BTA20, где расположены локусы, ассоциированные с молочной продуктивностью и здоровьем. Скорость распада неравновесного сцепления у старшего поколения выше, чем у молодых особей. Полученные результаты свидетельствуют об усилении интенсивности отбора и повышении гомогенности генома в современной популяции и имеют важное практическое значение для оптимизации программ геномной селекции в регионе.

LINKAGE DISEQUILIBRIUM DECAY IN THE DAIRY CATTLE POPULATION OF THE SVERDLOVSK REGION

G.A. Lihodeevskiy, O.A. Minina, P.S. Bogatova, O.E. Lihodeevskaya

Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

Email: georglihodey@mail.ru

Keywords: dairy cattle, genomic selection, Holstein breed, population genetic structure, single nucleotide polymorphisms, DNA microarray.

Abstract. Over the past two decades, the dairy cattle population in the Sverdlovsk region has undergone a transition from Black Pied to Holstein breeds, raising questions about its consequences for the genome structure. Analysis of linkage disequilibrium is a key tool for evaluating genetic structure, efficiency of genomic selection, and preservation of genetic diversity. A comparison of two generations of female stock in the Sverdlovsk region revealed that younger animals have 20–35 % higher values of linkage disequilibrium compared to older ones. The average values of determination coefficient (R^2) across the genome were 0.10 and 0.08, while normalized coefficients (D') were 0.59 and 0.50 for younger and older generations, respectively. Despite differences in mean values, the overall pattern of distribution of linkage disequilibrium along chromosomes remains consistent (Spearman correlation coefficient >0.94). Linkage disequilibrium peaks are observed on chromosomes BTA14, BTA16, and BTA20, where loci associated with milk productivity and health are located. The rate of decay of linkage disequilibrium is higher in the older generation compared to young individuals. These findings indicate an increase in selection intensity and greater homogeneity of the genome in modern populations, which is important for optimizing regional programs of genomic selection.

В Свердловской области за последние два десятилетия крупный рогатый скот молочного направления претерпел породный переход от черно-пестрой породы к голштинской [1, 2]. В связи с этим возникает вопрос о том, к каким изменениям в геноме это привело. Один из способов исследовать данный вопрос – анализ неравновесного сцепления.

Неравновесное сцепление (НС) является важным популяционно-генетическим параметром, который отражает неслучайную ассоциацию аллелей разных локусов в популяции. Основными методами оценки НС являются коэффициент детерминации R^2 [3] и нормализованный коэффициент Левонтина D' [4]. R^2 – мера неравновесного сцепления, которая определяется как квадрат коэффициента корреляции между парами однонуклеотидных полиморфизмов (ОНП). D' – это разница между фактической и ожидаемой частотой гаплотипов НС, нормализованная относительно теоретического максимума, возможному при данных аллельных частотах.

В молочном скотоводстве изучение неравновесного сцепления имеет важное значение для понимания генетической структуры популяций, эффективности геномной селекции и сохранения генетического разнообразия [5]. Начавшись в середине нулевых годов XXI в. исследования, в основном сосредоточенные в Северной Америке и Австралии [6–11], продолжают и сегодня с расширением географии.

У скота голштинской породы Португалии средние значения D' и R^2 составляют 0,628 и 0,122 соответственно [12]. Авторы отмечают: самое высокое значение D' было найдено на ВТА 20 (0,664), а самое высокое значение R^2 на ВТА 14 (0,158). Неравновесное сцепление R^2 голштинского скота в Сербии составило 0,034; максимум ($R^2 = 0,047$) был зафиксирован на ВТА 20 [13]. В хорватском поголовье среднее значение R^2 по всем аутосомам оказалось на уровне 0,16; максимум – 0,23 на ВТА20 [14]. Подобные же результаты получены и для голштинской породы, разводимой в Пакистане [15], D' составил 0,55. К сожалению, авторы прямо не указывают среднее значение R^2 , однако оно достоверно больше 0,2 и выше по сравнению с породами: сахивал (*Bos indicus*), неллор (*Bos indicus*), герефордская (*Bos taurus*) и аборигенный скот – систани (*Bos taurus*). Максимальное значение нормализованного коэффициента Левонтина было обнаружено на ВТА1 и составило 0,66; максимальное значение коэффициента детерминации на ВТА14 – 0,15.

Прямое сравнение результатов разных исследований затруднено в первую очередь из-за использования разного числа ОНП, а также разных размеров блоков. Однако исследования фиксируют быстрый распад оценки R^2 с увеличением расстояния между аллелями внутри голштинской породы. Скорость, с которой происходит этот распад, зачастую выше, чем в других группах и породах крупного рогатого скота [16–20].

Цель исследования – определить изменение неравновесного сцепления в геноме крупного рогатого скота Свердловской области, произошедшее в ходе интенсивной голштинизации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проводилось в период с 2019–2022 гг. в Свердловской области. Объектом исследования были особи маточного поголовья разных годов рождения, разбитых на две поколенческие группы, из девяти сельскохозяйственных организаций Свердловской области.

В исследовании использовали результаты генотипирования коров, полученные с помощью ДНК-биочипов Illumina (США) в ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста и в ООО «Мираторг». Первичную фильтрацию по $\text{Gene Score} > 0.35$ проводили в R [21]. Последующую фильтрацию по отсутствующим данным генотипов проводили с помощью PLINK v1.9 [22] и опций --geno 0.1 --mind 0.05. Фильтрацию по частоте минорного аллеля проводили там же с помощью опции --maf 0.05. Дополнительно проводили выявление и удаление дубликатов/монозиготных близнецов в программе KING [23].

Анализ данных, а именно расчет коэффициента детерминации и нормализованного коэффициента неравновесного сцепления Левонтина, проводился с использованием пакета snpStats [24] и функции ld(). Коэффициент корреляции по Спирману рассчитывали с помощью функции cor() [21]. Точки излома определяли с помощью пакета segmented [25].

Результаты визуализировали в R и пакета ggplot2 [26].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам первичной обработки данных, включавшей объединение данных генотипирования и фильтрацию ОНП, и образцов для анализа было доступно 40387 ОНП (уровень генотипи-

рования 99,5 %) на 29 аутосомах крупного рогатого скота и 1015 особей (248 – 2007–2014 годов рождения и 767 – 2018–2022 годов рождения). Разница в численности анализируемых групп, на наш взгляд, могла лишь незначительно сказаться на результатах. Во-первых, в расчете коэффициента детерминации и нормализованного коэффициента Левонтина используются частоты аллелей и гаплотипов, т. е. относительные, но не абсолютные значения; во-вторых, фильтрация по частоте минорного аллеля позволяет избегать экстремальных значений и, соответственно, искажения результатов. В первой поколенческой группе оценки неравновесия были рассчитаны для 685 210 пар ОНП, во второй – для 685 555 пар.

Оба метода оценки неравновесного сцепления R^2 и D' демонстрируют на 20–35 % более высокие значения в поколении особей 2018–2022 годов рождения по сравнению с возрастными особями (табл. 1). Средние значения НС на геном составили 0,08 и 0,10 по R^2 , 0,50 и 0,59 по D' , для особей 2007–2014 и 2018–2022 годов рождения соответственно. Отмечено, что в чистопородных линиях НС держится выше, особенно если порода подвергалась интенсивной селекции [27]; особей поколения 2007–2014 гг. можно отнести к черно-пестрой породе уральского типа [1, 2],

которая сама по себе является кроссом, сформированным в ходе скрещивания уральского отродья черно-пестрого скота и голштинской породы. С увеличением дистанции между ОНП, закономерно уменьшаются и оценки НС. Значения неравновесного сцепления снижаются в блоке 100–500 кн по сравнению с блоком 0–50 кн в 2,5–3,5 раза для R^2 и в 1,3–1,5 раза для D' .

В распределении средних значений оценок НС по хромосомам в поколениях сохраняется общий паттерн, коэффициент корреляции между поколениями составляет 0,94 и 0,95 для R^2 и D' соответственно (рис. 1). Максимумы R^2/D' в поколении 2007–2014 гг. отмечены на хромосомах: ВТА16 = 0,10/0,53, ВТА20 = 0,1/0,54 и ВТА14 = 0,09/0,52; в поколении 2018–2022 гг. на тех же хромосомах, но со значениями выше: ВТА20 = 0,13/0,64, ВТА16 = 0,13/0,64 и ВТА14 = 0,12/0,60. Максимумы неравновесного сцепления на данных хромосомах могут быть следствием отбора в голштинской породе, поскольку именно в данных хромосомах лежат локусы, ассоциированные с молочной продуктивностью [28–31], устойчивостью к маститу [32], устойчивостью к паратуберкулезу [33], экстерьерными признаками, в том числе характеристиками вымени [34].

Таблица 1

Оценки неравновесного сцепления между поколениями маточного поголовья Свердловской области
Estimates of linkage disequilibrium between generations of breeding stock in the Sverdlovsk region

Поколение, годы рождения	Блок ОНП	R^2		D'	
		Медиана	$x \pm sd$	Медиана	$x \pm sd$
2007–2014	0–50 кн	0,11	0,24±0,287	0,96	0,75±0,320
2018–2022		0,13	0,26±0,306	0,99	0,8±0,297
2007–2014	50–100 кн	0,06	0,14±0,194	0,68	0,62±0,341
2018–2022		0,07	0,16±0,221	0,84	0,7±0,325
2007–2014	100–500 кн	0,03	0,07±0,112	0,47	0,5±0,327
2018–2022		0,04	0,1±0,145	0,64	0,6±0,329
2007–2014	500–1 Мн	0,02	0,05±0,077	0,39	0,45±0,313
2018–2022		0,03	0,08±0,111	0,54	0,54±0,320
2007–2014	Полные аутосомы	0,03	0,08±0,155	0,45	0,50±0,329
2018–2022		0,04	0,10±0,127	0,62	0,59±0,330

Примечание. $x \pm sd$ – среднее±стандартное отклонение, кн – килонуклеотидов (1000 нуклеотидов), Мн – мегануклеотидов (1 000 000 нуклеотидов).

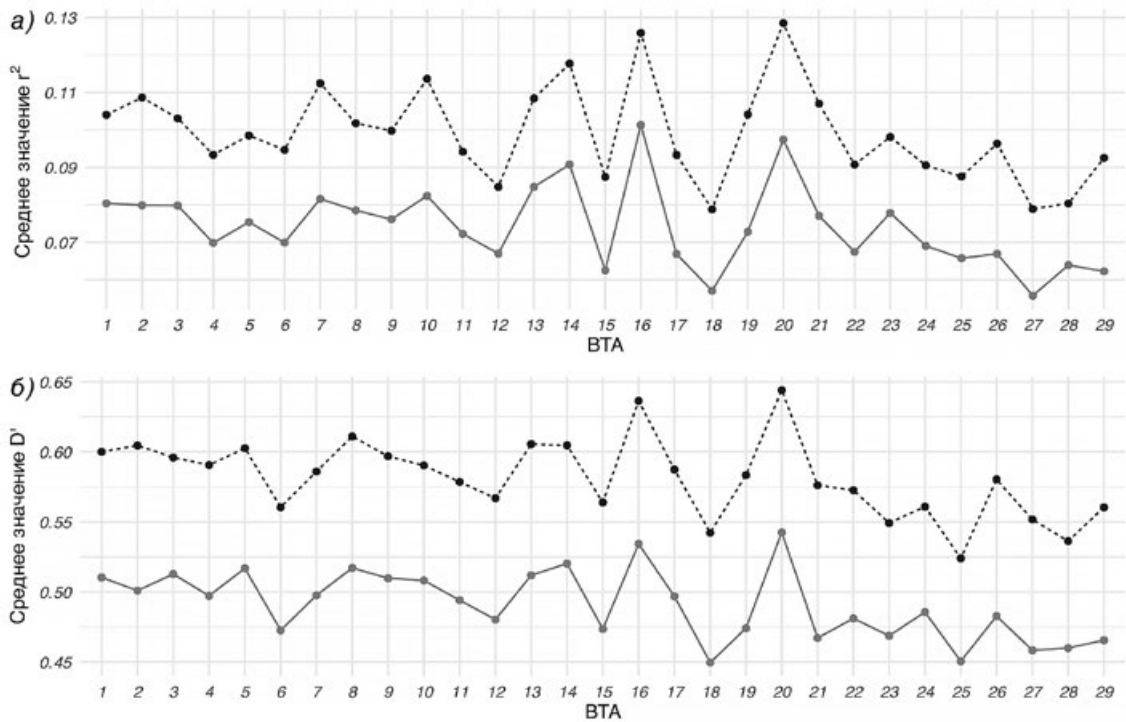


Рис. 1. Распределение по хромосомам средних оценок неравновесного сцепления в маточном поголовье крупного рогатого скота Свердловской области: коэффициента детерминации (а) и нормализованного коэффициента неравновесного сцепления Левонтина (б); 2007–2014 – серая сплошная линия; 2018–2022 – черная пунктирная линия BTA – хромосома крупного рогатого скота

Distribution of average linkage disequilibrium estimates across chromosomes in the breeding stock of cattle in the Sverdlovsk region: the coefficient of determination (a) and the normalized Levontin linkage disequilibrium coefficient (b); 2007–2014 – gray solid line; 2018–2022 – black dotted line. BTA – cattle chromosome

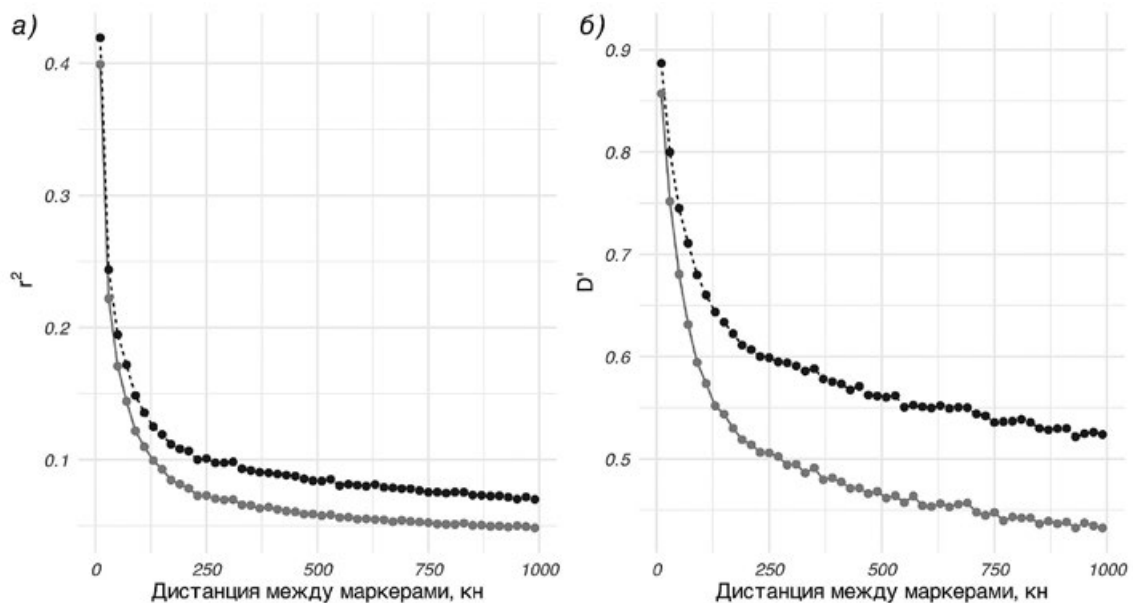


Рис. 2. Распад неравновесного сцепления в геноме маточного поголовья крупного рогатого скота Свердловской области: а – коэффициента детерминации и б – нормализованного коэффициента сцепления Левонтина; двух поколений: 2007–2014 – серая сплошная линия; 2018–2022 – черная пунктирная линия, кн – килонуклеотидов (1000 нуклеотидов)

Linkage disequilibrium decay in the genome of the breeding stock of cattle in the Sverdlovsk region: a – the coefficient of determination and b – the normalized Levontin linkage coefficient; two generations: 2007–2014 – gray solid line; 2018–2022 – black dotted line, кн – kilonucleotides (1000 nucleotides)

У старшего поколения коров распад НС демонстрирует более низкие значения оценок неравновесного сцепления по сравнению с молодым поколением (рис. 2). Помимо этого, у старших особей средняя скорость распада НС на всем протяжении выше, чем у молодых особей; незначительно, на 0,56 % для коэффициента детерминации и на 17 % для нормализованного коэффициента сцепления Левонтина (табл. 2). В целом с увеличением расстояния между од-

нуклеотидными полиморфизмами падает и средняя скорость изменения R^2 и D' . Наибольшая скорость распада характерна для блока 0–50 кн: R^2 в поголовье 2007–2014 гг. теряет по $5,77 \times 10^{-3}$ с каждой килобазой, D' – $4,47 \times 10^{-3}$; а в поколении 2018–2022 гг. $5,68 \times 10^{-3}$ и $3,58 \times 10^{-3}$. Для обоих методов НС в менее протяженных расстояниях, до 250 кн, скорость была выше у возрастных особей; в блоке 500 кн–1 Мн, средняя скорость распада НС оказалась выше у молодых особей.

Таблица 2

Средняя скорость распада неравновесного сцепления, ед. НС/кн
Average rate of disequilibrium adhesion decay, units HA/kg

Блок ОНП	R^2		D'	
	2007–2014	2018–2022	2007–2014	2018–2022
0–50 кн	-0,005771	-0,005676	-0,004465	-0,003582
50–250 кн	-0,000489	-0,000469	-0,000873	-0,00073
250–500 кн	-0,000059	-0,000066	-0,00017	-0,000149
500–1 Мн	-0,000019	-0,000029	-0,000061	-0,000076
0–1 Мн	-0,000358	-0,000356	-0,000433	-0,00037

По экспериментальным данным распада неравновесного сцепления получены точки излома (рис. 3). Точки излома разделяют участки с разной скоростью угасания данных; до излома – график крутой, после переходит на плато. Для коэффициента детерминации получены точки излома 59,89 кн у поколения 2007–2014 годов рождения и 75,92 кн – у поколения 2018–2022 годов рождения. Для нормализованного коэф-

фициента сцепления Левонтина точкам излома соответствуют координаты 118,61 кн в старшем поколении и 120,73 кн в молодом поколении. Таким образом, для более возрастных особей характерно не только более быстрое изменение оценок НС, но и то, что сцепление между ОНП начинает утрачиваться раньше, чем у молодых особей.

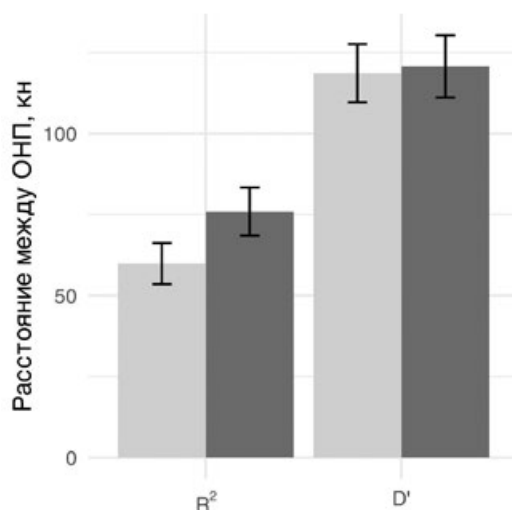


Рис. 3. Координаты точек излома и 95 % доверительный интервал для оценок неравновесного сцепления двух поколений молочного скота Свердловской области: 2007–2014 – светло-серый столбец; 2018–2022 – темно-серый столбец

Coordinates of breakpoints and 95% confidence intervals for estimates of linkage disequilibrium in two generations of dairy cattle in the Sverdlovsk region: 2007–2014 – light gray column; 2018–2022 – dark gray column

ВЫВОДЫ

1. Проведенное исследование выявило изменение уровня неравновесного сцепления в популяции молочного скота Свердловской области при сравнении поколений 2007–2014 годов рождения и 2018–2022 годов рождения. Средние значения НС (R^2 и D') в популяции 2018–2022 годов рождения на 20–35 % превышают показатели старшего поколения, что свидетельствует о росте генетической гомогенности. Современная популяция характеризуется более высоким уровнем НС, что является прямым следствием интенсивного использования генетического материала голштинской породы. Попытка ответа на вопрос о целенаправленном (селекция) или вызванном случайными явлениями (дрейф генов и эффект основателя) изменении генофонда популяции крупного рогатого скота в Свердловской области станет темой дальнейших исследований.

2. Несмотря на различия в уровне оценок НС, паттерн распределения по ауто索мам остается высококонсервативным между поколениями ($\rho > 0,94$). Это не вызывает удивления, поскольку оба поколения являются результатом голштиниза-

ции, но разной интенсивности и продолжительности. Максимальные значения НС стабильно регистрируются на хромосомах ВТА14, ВТА16 и ВТА20, известных содержанием локусов количественных признаков, ассоциированных с молочной продуктивностью, что подтверждает продолжительное селекционное давление на эти участки генома в голштинской породе.

3. Различия в скорости распада неравновесного сцепления между возрастными группами составили 0,56 % для коэффициента детерминации и 17 % для нормализованного коэффициента сцепления Левонтина. Сдвиг точек излома R^2 : 59,9→75,9 кн и D' : 118,6→120,7 кн означает, что неравновесное сцепление сохраняется на больших расстояниях. Это может указывать на снижение генетического разнообразия.

4. Полученные результаты о структуре и распаде неравновесного сцепления могут быть учтены при разработке селекционных стратегий для минимизации рисков инбридинга.

Исследование проведено в рамках госзадания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (регистрационный номер 124061300024-1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Population genetic structure of Ural Black Pied cattle* / M.V. Modorov, I.V. Tkachenko, A.A. Green [et al.] // Russian Journal of Genetics. – 2021. – Vol. 57, N 4. – P. 453–459. – DOI: 10.1134/S1022795421040104.
2. *Dynamics of the genetic structure of dairy cattle population in the Sverdlovsk region* / G.A. Lihodeevskiy, P.S. Bogatova, O.E. Lihodeevskaya [et al.] // BIO Web Conferences. – 2025. – Vol. 179. – P. 03002. – DOI: 10.1051/bioconf/202517903002.
3. *Hill W.G., Robertson A.* Linkage disequilibrium in finite populations // Theor Appl Genet. – 1968. – Vol. 38, N 6. – P. 226–231. – DOI: 10.1007/BF01245622. PMID: 24442307.
4. *Lewontin R.C.* The Interaction of Selection and Linkage. I. General Considerations; Heterotic Models // Genetics. – 1964. – Vol. 49, N 1. – P. 49–67. – DOI: 10.1093/genetics/49.1.49.
5. *Qanbari S.* On the Extent of Linkage Disequilibrium in the Genome of Farm Animals // Front Genet. – 2020. – Vol. 10. – P. 1304. – DOI: 10.3389/fgene.2019.01304.
6. *Genetic diversity and background linkage disequilibrium in the North American Holstein cattle population* / R.L. Vallejo, Y.L. Li, G.W. Rogers [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2003. – Vol. 86, N 12. – P. 4137–4147. – DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(03)74028-4).
7. *Extent of linkage disequilibrium in Holstein cattle in North America* / M. Sargolzaei, F.S. Schenkel, G.B. Jansen [et al.] // J Dairy Sci. – 2008. – Vol. 91, N 5. – P. 2106–2117. – DOI: 10.3168/jds.2007-0553.
8. *Bohmanova J., Sargolzaei M., Schenkel F.S.* Characteristics of linkage disequilibrium in North American Holsteins. BMC Genomics. – 2010. – Vol. 11. – P. 421. – DOI: 10.1186/1471-2164-11-421.
9. *Extent of genome-wide linkage disequilibrium in Australian Holstein-Friesian cattle based on a high-density SNP panel* / M.S. Khatkar, F.W. Nicholas, A.R. Collins [et al.] // BMC Genomics. – 2008. – Vol. 9. – P. 187. – DOI: 10.1186/1471-2164-9-187.
10. *The pattern of linkage disequilibrium in German Holstein cattle* / S. Qanbari, E.C.G. Pimentel, J. Tetens [et al.] // Anim Genet. – 2010. – Vol. 41. – P. 346–356. – DOI: 10.1111/j.1365-2052.2009.02011.x.
11. *Extent of linkage disequilibrium in a Sardinian sub-isolate: sampling and methodological considerations* / A. Tenesa, A.F. Wright, S.A. Knott [et al.] // Hum Mol Genet. – 2004. – Vol. 13, N 1. – P. 25–33. – DOI: 10.1093/hmg/ddh001.
12. *Linkage Disequilibrium and Haplotype Block Structure in Portuguese Holstein Cattle* / M. Salem, G. Thompson, S. Chen [et al.] // Czech Journal of Animal Science. – 2018. – Vol. 63. – P. 61–96. – DOI: 10.17221/56/2017-CJAS.

13. *Genomic characterization of Serbian Holstein-Friesian cattle population* / M. Šaran, L. Štrbac, D. Jankovic [et al.] // Czech Journal of Animal Science. – 2023. – Vol. 68. – P. 468–496. – DOI: 10.17221/89/2023-CJAS.
14. *The estimation of linkage disequilibrium decay in Croatian Holstein cattle: potential for genomic selection* / M. Špehar, Z. Ivkić, D. Solić [et al.] // I. Majić, ed., Z. Antunović, ed. Zbornik radova 57. hrvatskog i 17. međunarodnog simpozija agronoma. Osijek: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera; 2022. – P. 521–525. – URL: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:965296>.
15. *Linkage Disequilibrium Decay in Selected Cattle Breeds* / F. Bordbar, J. Jensen, A.A. Wadood [et al.] // Animals (Basel). – 2024. – Vol. 14, N 22. – P. 3317. – DOI: 10.3390/ani14223317.
16. *Linkage disequilibrium and persistence of phase in Holstein-Friesian, Jersey and Angus cattle* / A.P. de Roos, B.J. Hayes, R.J. Spelman [et al.] // Genetics. – 2008. – Vol. 179, N 3. – P. 1503–1512. – DOI: 10.1534/genetics.107.084301.
17. *Comparative accuracies of genetic values predicted for economically important milk traits, genome-wide association, and linkage disequilibrium patterns of Canadian Holstein cows* / S.O. Peters, K. Kizilkaya, E.M. Ibeagha-Awemu [et al.] // J Dairy Sci. – 2021. – Vol. 104, N 2. – P. 1900–1916. – DOI: 10.3168/jds.2020-18489.
18. *Genomic prediction based on a joint reference population for the Xinjiang Brown cattle* / M. Zhang, L. Xu, H. Lu [et al.] // Front Genet. – 2024. – Vol. 15. – P. 1394636. – DOI: 10.3389/fgene.2024.1394636. PMID: 38737126. PMCID: PMC11082323.
19. *Валидация геномного прогноза племенной ценности быков-производителей по признакам молочной продуктивности дочерей на примере популяции черно-пестрого и голштинского скота* / А.А. Сермягин, А.А. Белоус, А.Ф. Контэ [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52, № 6. – С. 1148–1156. – DOI: 10.15389/agrobiology.2017.6.1148rus.
20. *Linkage Disequilibrium Decay in Selected Cattle Breeds* / F. Bordbar, J. Jensen, A.A. Wadood [et al.] // Animals (Basel). – 2024. – Vol. 14, N 22. – P. 3317. – DOI: 10.3390/ani14223317.
21. *R Core Team. R: A language and environment for statistical computing* [Электронный ресурс]: статистическая программная среда. – Версия 4.3.2. – Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023. – URL: <https://www.r-project.org> (дата обращения: 22.06.2025).
22. *PLINK: A tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses* / S. Purcell, B. Neale, K. Todd-Brown [et al.] // American Journal of Human Genetics. – 2007. – № 81. – P. 559–575.
23. *Robust relationship inference in genome-wide association studies* / A. Manichaikul, J.C. Mychaleckyj, S.S. Rich [et al.] // Bioinformatics. – 2010. – Vol. 15, N 22. – P. 2867–2873. – DOI: 10.1093/bioinformatics/btq559.
24. *Clayton, D. snpStats: SnpMatrix and XSnpmatrix classes and methods* [Электронный ресурс]: пакет для R. – Версия 1.59.2. – 2025. – URL: <https://bioconductor.org/packages/snpStats> (дата обращения: 22.06.2025).
25. *Muggeo V.M.R. Estimating regression models with unknown break-points* // Statistics in Medicine. – 2003. – Vol. 22. – P. 3055–3071. – DOI: doi.org/10.1002/sim.1545.
26. *Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis* [Электронный ресурс]: монография. – 2nd ed. – Cham : Springer International Publishing, 2016. – 260 p.
27. *Linkage disequilibrium in Angus, Charolais, and Crossbred beef cattle* / D. Lu, M. Sargolzaei, M. Kelly [et al.] // Front Genet. – 2012. – Vol. 3. – P. 152. – DOI: 10.3389/fgene.2012.00152.
28. *Genome assembly anchored QTL map of bovine chromosome 14* / T.A. Wibowo, C.T. Gaskins, R.C. Newberry [et al.] // Int J Biol Sci. – 2008. – Vol. 4, N 6. – P. 406–414. – DOI: 10.7150/ijbs.4.406.
29. *Effects of DGAT1 and GHR on milk yield and milk composition in the Chinese dairy population* / D. Sun, J. Jia, Y. Ma [et al.] // Anim Genet. – 2009. – Vol. 40, N 6. – P. 997–1000. – DOI: 10.1111/j.1365-2052.2009.01945.x.
30. *A Large-Scale Genome-Wide Association Study in U.S. Holstein Cattle* / J. Jiang, L. Ma, D. Prakapenka [et al.] // Front Genet. – 2019. – Vol. 10. – P. 412. – DOI: 10.3389/fgene.2019.00412.
31. *Genomic Regions and Candidate Genes Associated with Milk Production Traits in Holstein and Its Crossbred Cattle: A Review* / R. Bekele, M. Taye, G. Abebe [et al.] // Int J Genomics. – 2023. – Vol. 2023. – P. 8497453. – DOI: 10.1155/2023/8497453.
32. *Genetic dissection of milk yield traits and mastitis resistance quantitative trait loci on chromosome 20 in dairy cattle* / N.K. Kadri, B. Guldbrandsen, M.S. Lund [et al.] // J Dairy Sci. – 2015. – Vol. 98, N 12. – P. 9015–9025. – DOI: 10.3168/jds.2015-9599.
33. *A Genome-Wide Association Study for Tolerance to Paratuberculosis Identifies Candidate Genes Involved in DNA Packaging, DNA Damage Repair, Innate Immunity, and Pathogen Persistence* / M. Canive, G. Badia-Bringué, P. Vázquez [et al.] // Front Immunol. – 2022. – Vol. 13. – P. 820965. – DOI: 10.3389/fimmu.2022.820965.
34. *Genome-wide association and functional genomic analyses for body conformation traits in North American Holstein cattle* / L.P.B. Sousa Junior, L.F.B. Pinto, V.A.R. Cruz // Front Genet. – 2024. – Vol. 15. – P. 1478788. – DOI: 10.3389/fgene.2024.1478788.

REFERENCES

1. Modorov M.V., Tkachenko I.V., Green A.A. [et al.], Population genetic structure of Ural Black Pied cattle, *Russian Journal of Genetics*, 2021, Vol. 57, No. 4, pp. 453–459, DOI: 10.1134/S1022795421040104.
2. Lihodeevskiy G.A., Bogatova P.S., Lihodeevskaya O.E. [et al.], Dynamics of the genetic structure of dairy cattle population in the Sverdlovsk region, *BIO Web Conferences*, 2025, Vol. 179, pp. 03002, DOI: 10.1051/bio-conf/202517903002.
3. Hill W.G., Robertson A., Linkage disequilibrium in finite populations, *Theor Appl Genet*, 1968, Vol. 38, No. 6, pp. 226–231, DOI: 10.1007/BF01245622. PMID: 24442307.
4. Lewontin R.C., The Interaction of Selection and Linkage. I. General Considerations; Heterotic Models, *Genetics*, 1964, Vol. 49, No. 1, pp. 49–67, DOI: 10.1093/genetics/49.1.49.
5. Qanbari S., On the Extent of Linkage Disequilibrium in the Genome of Farm Animals, *Front Genet*, 2020, Vol. 10, pp. 1304, DOI: 10.3389/fgene.2019.01304.
6. Vallejo R.L., Li Y.L., Rogers G.W. [et al.], Genetic diversity and background linkage disequilibrium in the North American Holstein cattle population, *Journal of Dairy Science*, 2003, Vol. 86, No. 12, pp. 4137–4147, DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(03)74028-4.
7. Sargolzaei M., Schenkel FS, Jansen GB, Schaeffer LR., Extent of linkage disequilibrium in Holstein cattle in North America, *J Dairy Sci*, 2008, Vol. 91, No. 5, pp. 2106–2117, DOI: 10.3168/jds.2007-0553.
8. Bohmanova J., Sargolzaei M., Schenkel F.S., Characteristics of linkage disequilibrium in North American Holsteins, *BMC Genomics*, 2010, Vol. 11, pp. 421, DOI: 10.1186/1471-2164-11-421.
9. Khatkar M.S., Nicholas F.W., Collins A.R. [et al.], Extent of genome-wide linkage disequilibrium in Australian Holstein-Friesian cattle based on a high-density SNP panel, *BMC Genomics*, 2008, Vol. 9, pp. 187, DOI: 10.1186/1471-2164-9-187.
10. Qanbari S., Pimentel E.C.G., Tetens J. [et al.], The pattern of linkage disequilibrium in German Holstein cattle, *Anim Genet*, 2010, Vol. 41, pp. 346–356, DOI: 10.1111/j.1365-2052.2009.02011.x.
11. Tenesa A., Wright A.F., Knott S.A. [et al.], Extent of linkage disequilibrium in a Sardinian sub-isolate: sampling and methodological considerations, *Hum Mol Genet*, 2004, Vol. 13, No. 1, pp. 25–33, DOI: 10.1093/hmg/ddh001.
12. Salem M., Thompson G., Chen S. [et al.], Linkage Disequilibrium and Haplotype Block Structure in Portuguese Holstein Cattle, *Czech Journal of Animal Science*, 2018, Vol. 63, pp. 61–96, DOI: 10.17221/56/2017-CJAS.
13. Šaran M., Štrbac L., Jankovic D. [et al.], Genomic characterization of Serbian Holstein-Friesian cattle population, *Czech Journal of Animal Science*, 2023, Vol. 68, pp. 468–496, DOI: 10.17221/89/2023-CJAS.
14. Špehar M., Ivkić Z., Solić D. [et al.], The estimation of linkage disequilibrium decay in Croatian Holstein cattle: potential for genomic selection, *I. Majić, ed., Z. Antunović, ed. Zbornik radova 57. hrvatskog i 17. međunarodnog simpozija agronoma. Osijek: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera*, 2022, pp. 521–525, URL: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:965296>.
15. Bordbar F., Jensen J., Wadood A.A. [et al.], Linkage Disequilibrium Decay in Selected Cattle Breeds, *Animals (Basel)*, 2024, Vol. 14, No. 22, pp. 3317, DOI: 10.3390/ani14223317.
16. de Roos A.P., Hayes B.J., Spelman R.J. [et al.], Linkage disequilibrium and persistence of phase in Holstein-Friesian, Jersey and Angus cattle, *Genetics*, 2008, Vol. 179, No. 3, pp. 1503–1512, DOI: 10.1534/genetics.107.084301.
17. Peters S.O., Kizilkaya K., Ibeagha-Awemu E.M. [et al.], Comparative accuracies of genetic values predicted for economically important milk traits, genome-wide association, and linkage disequilibrium patterns of Canadian Holstein cows, *J Dairy Sci*, 2021, Vol. 104, No. 2, pp. 1900–1916, DOI: 10.3168/jds.2020-18489.
18. Zhang M., Xu L., Lu H. [et al.], Genomic prediction based on a joint reference population for the Xinjiang Brown cattle, *Front Genet*, 2024, No. 15, pp. 1394636, DOI: 10.3389/fgene.2024.1394636. PMID: 38737126. PMCID: PMC11082323.
19. Sermyagin AA, Belous AA, Konte AF, et al., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2017, No. 52 (6), pp. 1148–1156, DOI: 10.15389/agrobiology.2017.6.1148rus. (In Russ.)
20. Bordbar F., Jensen J., Wadood A.A. [et al.], Linkage Disequilibrium Decay in Selected Cattle Breeds, *Animals (Basel)*, 2024, Vol. 14, No. 22, pp. 3317, DOI: 10.3390/ani14223317.
21. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing: – Version 4.3.2. – Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023, URL: <https://www.r-project.org>.
22. Purcell S., Neale B., Todd-Brown K. [et al.], PLINK: A tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses, *American Journal of Human Genetics*, 2007, No. 81, pp. 559–575.
23. Manichaikul A., Mychaleckyj J.C., Rich S.S. [et al.], Robust relationship inference in genome-wide association studies, *Bioinformatics*, 2010, Vol. 15, No. 22, pp. 2867–2873, DOI: 10.1093/bioinformatics/btq559.
24. Clayton, D. snpStats: SnpMatrix and XSnMatrix classes and methods: – Версия 1.59.2. – 2025, URL: <https://bioconductor.org/packages/snpStats>.

25. Muggeo V.M.R., Estimating regression models with unknown break-points, *Statistics in Medicine*, 2003, Vol. 22, pp. 3055–3071, DOI: doi.org/10.1002/sim.1545.
26. Wickham H., ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis, Cham: Springer International Publishing, 2016, 260 p.
27. Lu D., Sargolzaei M., Kelly M. [et al.], Linkage disequilibrium in Angus, Charolais, and Crossbred beef cattle, *Front Genet*, 2012, Vol. 3, pp. 152, DOI: 10.3389/fgene.2012.00152.
28. Wibowo T.A., Gaskins C.T., Newberry R.C. [et al.], Genome assembly anchored QTL map of bovine chromosome 14, *Int J Biol Sci*, 2008, Vol. 4, No. 6, pp. 406–414, DOI: 10.7150/ijbs.4.406.
29. Sun D., Jia J., Ma Y. [et al.], Effects of DGAT1 and GHR on milk yield and milk composition in the Chinese dairy population, *Anim Genet*, 2009, Vol. 40, No 6, pp. 997–1000, DOI: 10.1111/j.1365-2052.2009.01945.x.
30. Jiang J., Ma L., Prakapenka D. [et al.], A Large-Scale Genome-Wide Association Study in U.S. Holstein Cattle, *Front Genet*, 2019, Vol. 10, pp. 412, DOI: 10.3389/fgene.2019.00412.
31. Bekele R., Taye M., Abebe G. [et al.], Genomic Regions and Candidate Genes Associated with Milk Production Traits in Holstein and Its Crossbred Cattle: A Review, *Int J Genomics*, 2023, Vol. 2023, pp. 8497453, DOI: 10.1155/2023/8497453.
32. Kadri N.K., Gulbrandsen B., Lund M.S. [et al.], Genetic dissection of milk yield traits and mastitis resistance quantitative trait loci on chromosome 20 in dairy cattle, *J Dairy Sci*, 2015, Vol. 98, No. 12, pp. 9015–9025, DOI: 10.3168/jds.2015-9599.
33. Canive M., Badia-Bringué G., Vázquez P. [et al.], A Genome-Wide Association Study for Tolerance to Paratuberculosis Identifies Candidate Genes Involved in DNA Packaging, DNA Damage Repair, Innate Immunity, and Pathogen Persistence, *Front Immunol*, 2022, Vol. 13, pp. 820965, DOI: 10.3389/fimmu.2022.820965.
34. Sousa Junior L.P.B., Pinto L.F.B., Cruz V.A.R. [et al.], Genome-wide association and functional genomic analyses for body conformation traits in North American Holstein cattle, *Front Genet*, 2024, Vol. 15, pp. 1478788, DOI: 10.3389/fgene.2024.1478788.

Информация об авторах:

Г.А. Лиходеевский, младший научный сотрудник лаборатории молекулярных и биологических исследований

О.А. Минина, лаборант-исследователь лаборатории ветеринарно-санитарной экспертизы

П.С. Богатова, младший научный сотрудник лаборатории молекулярных и биологических исследований

О.Е. Лиходеевская, кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией молекулярных и биологических исследований

Contribution of the authors:

G.A. Lihodeevskiy, Junior Researcher Laboratories of molecular and biological research

O.A. Minina, Lab Research Assistant Laboratory of veterinary and sanitary examination

P.S. Bogatova, Junior Researcher Laboratories of molecular and biological research

O.E. Lihodeevskaya, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of Laboratory of molecular and biological research

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШТАММОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ СОБСТВЕННОЙ КИШЕЧНОЙ МИКРОФЛОРЫ МОЛОДИ СТЕРЛЯДИ В КАЧЕСТВЕ ПРОБИОТИКОВ

¹А.И. Михайлов, ²И.В. Морузи, ³Г.В. Калмыкова, ¹С.Н. Магер, ²Е.В. Пищенко, ²С.В. Севастеев,

²П.В. Белоусов, ²Д.В. Кропачев

¹Сибирский федеральный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

³ООО «Микопро», р.п. Кольцово, Россия

E-mail: mikhaylovai_98@vk.com

Для цитирования: Результаты использования штаммов, выделенных из собственной кишечной микрофлоры молоди стерляди в качестве пробиотиков / А.И. Михайлов, И.В. Морузи, Г.В. Калмыкова, С.Н. Магер, Е.В. Пищенко, С.В. Севастеев, П.В. Белоусов, Д.В. Кропачев // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 226–235. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-226-235.

Ключевые слова: пробиотические препараты, штаммы, аквакультура, стерлядь, микрофлора, рыбное хозяйство, ихтиология.

Реферат. В работе представлены результаты исследований пробиотического потенциала штаммов микроорганизмов, выведенных из естественной микробиоты стерляди (*Acipenser ruthenus*). Объектом исследования послужили штаммы: *Enterococcus mundtii*, *Lactobacillus plantarum*, *Bacillus licheniformis* 2336, 162 St. Исследования проведены путем испытания на аналогичных группах в условиях УЗВ в течение 60 и 70 дней. Степень влияния оценивалась по таким показателям, как: средняя масса, абсолютный, среднесуточный, относительный прирост, коэффициент массонакопления, относительная скорость роста. Нормы кормления рассчитывались из рекомендаций производителя корма, препараты с штаммами наносились на корм методом напыления. Взвешивания производились раз в 10 дней. По результатам проведенных первого эксперимента высокие значения относительного прироста показали группы молоди стерляди при скармливании *Enterococcus mundtii* – 20,50 %, *Lactobacillus plantarum* – 16,61 % и относительной скорости роста составляла *Enterococcus mundtii* – 1,55 %, *Lactobacillus plantarum* – 1,28 %. По результатам второго эксперимента группа контроль показала наименьшие результаты по средней массе ($123,2 \pm 5,21$ г), самые высокие значения у опытной группы с применением штамма 162 St – $130,58 \pm 5,33$ г, у группы *Bacillus licheniformis* 2336 – $128,31 \pm 7,63$ г. По показателям относительного прироста и относительной скорости роста опытные группы так же опережали контроль. Сделан вывод о необходимости исследования выведенных штаммов как с увеличением сроков наблюдений, так и с анализом по гематологическим показателям, анализом микробного сообщества кишечника в конце исследований.

RESULTS OF THE USE OF STRAINS ISOLATED FROM THE INTESTINAL MICROFLORA OF JUVENILE STERLET AS PROBIOTICS

¹A.I. Mikhailov, ²I.V. Moruzi, ³G.V. Kalmykova, ¹S.N. Mager, ²E.V. Pishchenko, ²S.V. Sevasteev, ²P.V. Belousov,

²D.V. Kropachev

¹Siberian Federal Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk district, Russia

²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

³ООО “Mikopro”, Koltsovo district, Russia

E-mail: mikhaylovai_98@vk.com

Keywords: probiotic preparations, strains, aquaculture, sterlet, microflora, fisheries, ichthyology.

Abstract. This paper presents the results of a study examining the probiotic potential of microbial strains isolated from the natural microbiota of sterlet (*Acipenser ruthenus*). The strains studied were *Enterococcus mundtii*, *Lactobacillus plantarum*, and *Bacillus licheniformis* 2336 and 162 St. The study was conducted using groups of similar in a recirculating aquaculture system (RAS) for 60 and 70 days. The impact was assessed using the following parameters: average weight, absolute, average daily, and relative gain, mass accumulation coefficient, and relative growth rate. Feeding rates were calculated based on the feed manufacturer's recommendations,

and preparations containing the strains were sprayed onto the feed. Weighing was performed every 10 days. According to the results of the first experiment, high values of relative increase were shown by the groups of young sterlet fed with *Enterococcus mundtii* – 20.50 %, *Lactobacillus plantarum* – 16.61 % and the relative growth rate was *Enterococcus mundtii* – 1.55 %, *Lactobacillus plantarum* – 1.28 %. According to the results of the second experiment, the control group showed the lowest results in terms of average weight (123.2 ± 5.21), the highest values were in the experimental group using the strain 162 St – 130.58 ± 5.33 , in the *Bacillus licheniformis* 2336 group – 128.31 ± 7.63 . In terms of relative increase and relative growth rate, the experimental groups also outperformed the control. A conclusion was made about the need to study the isolated strains both with an increase in the observation period and with an analysis of hematological parameters, an analysis of the intestinal microbial community at the end of the studies.

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к замене антибиотиков, красителей и других препаратов, применяемых для лечения и профилактики заболеваний у рыб, на менее радикальные, такие как пробиотики, пребиотики, фитобиотики, а также на вакцины, подразделяемые на «убитые», аттенуированные, ДНК-вакцины, синтетические пептиды, рекомбинантные векторные, генетически модифицированные и субъединичные вакцины [1]. Интерес этот связан с желанием получать наибольшую продуктивность, снижая при этом риски как для рыбы, так для человека при ее потреблении. Опасность использования антибиотиков кроется в дисбактериозе, риск возникновения, которого появляется даже при краткосрочном применении [2], возможности появления невосприимчивых к ним штаммам патогенов, а также в нарушении естественной микрофлоры. Кроме этого их использование может провоцировать стресс, вследствие которого может наблюдаться снижение производительности. Постепенное накопление антибиотиков в водной среде и сельскохозяйственных объектах несет немалое количество рисков здоровью человека и экологии в целом [1]. Ответом на необходимость снижения таких рисков является повышение естественного иммунитета рыб. Этот эффект может быть достигнут при применении пробиотиков и пребиотиков для профилактики заболевания рыб.

Пробиотики способны подавлять патогенные организмы посредством улучшения общего гомеостаза и показателей крови, в частности, изменения микробного метаболизма. Также они принимают участие в пищеварении. Таким образом, их использование повышает естественный иммунитет, усвояемость корма, что напрямую влияет на стрессоустойчивость, выживаемость и продуктивность выращиваемой рыбы.

Разработка пробиотических препаратов связана с серьезными трудностями в определении и выведении потенциально полезных штаммов.

Микрофлора кишечника рыб зависит от таких факторов, как условия окружающей среды, видоспецифичность хозяина, рацион и пищевое поведение. Например, для морских рыб характерно наличие *Firmicutes* и *Fusobacteria*, а для пресноводных – *Proteobacteria* [3]. Для большеротого окуня (*Micropterus salmoides*), синезаберного солнечника (*Lepomis macrochirus*) и японской малоротой корюшки (*Hypomesus nipponensis*) характерно преобладание двух типов *Proteobacteria* и *Fusobacteria*, а для рыбы-клоуна характерным представителем микрофлоры является *Firmicutes* [4–6]. При кормлении пёстрого толстолобика (*Aristichthys nobilis*) живым кормом с небольшим добавлением комбикормов в кишечнике доминируют типы *Proteobacteria* и *Fusobacteria*. Если же отказаться от внесения комбикорма на первый план выйдут *Bacteroidetes*, *Fusobacteria*, *Firmicutes* и *Proteobacteria* [7].

Исследования, проводимые с целью выявления влияния пробиотиков на аквакультурные объекты, ведутся в большом объёме с уже имеющимися препаратами, либо, в меньшей степени, с выведением штаммов из естественной микробиоты [8–12]. В основном эти препараты основаны на *Bacillus sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Enterococcus sp.*, классифицированных как основные пробиотики [13, 14], *Carnobacterium sp.*, дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* и др. Современные работы разнятся как по результатам, так и по выбранным методам [15–19].

Цель исследования – проанализировать пробиотический потенциал четырёх выделенных из естественной микрофлоры штаммов микроорганизмов путем испытания на группах аналогов стерляди, выращиваемых в системе УЗВ.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в «Исследовательском центре аквакультуры» Новосибирского го-

сударственного аграрного университета. Молодь стерляди сибирской *Acipenser ruthenus marsiglii* Brandt содержалась в системе УЗВ, в бассейнах объемом 600 л, температура воды 18–22 °С, содержание кислорода 8–10 мг/л, нормы посадки (30 особей на бассейн) соответствовали рыбоводным нормам для данного вида.

Объектом исследования послужили штаммы микроорганизмов, выведенные из естественной микробиоты стерляди. Сбор микробиологического материала проводился у 40 здоровых и больных тимпанией особей. Для определения видовой принадлежности была проведена идентификация выделенных бактерий с использованием культурально-морфологических и молекулярных методов. После проведения тестирования по ферментативной активности (протеолитическая, амилазная, липазная) и антимикробной активности против патогенных микроорганизмов были выбраны бактерии, обладающие потенциалом для создания пробиотиков для осетровых рыб, и разработаны модельные образцы потенциальных пробиотических штаммов. Так, было выбрано четыре штамма: *Enterococcus mundtii*, *Lactobacillus plantarum*, *Bacillus licheniformis* 2336, 162 St с потенциально пробиотическими свойствами.

В рамках исследования проведено два эксперимента. В обоих случаях биотестирование проводилась на молоди стерляди, в группах аналогов. Для каждого эксперимента было отобрано три группы по тридцать особей стерляди, две из которых опытные, одна контрольная, в состав рациона которой входил комбикорм без добавления исследуемых штаммов.

Рыбу кормили комбикормом производства ООО «Акварм» со следующим составом: рыбная мука, глютен пшеничный, пшеница кормовая, мука мясокостная, жир рыбий, изолят соевого белка, масло подсолнечное, гаммарус, аминокислоты, премикс Дельта фидс, говяжий гемоглобин в порошке, сухая плазма крови, соль, монокальцийфосфат, дефторированный фосфат, сода, комплекс ферментов, витамин С.

Исследуемые штаммы наносились на корм методом напыления. В первом эксперименте исследовались штаммы: *Enterococcus mundtii* вводили в корм с титром $1,5 \times 10^9$ кое/мл, *Lactobacillus plantarum* с титром $1,2 \times 10^9$ кое/мл. Во втором:

Bacillus licheniformis 2336 вводились с титром $1,0 \times 10^9$ кое/мл, 162 St. с титром $1,2 \times 10^9$ кое/мл.

Взвешивание рыбы проводилось раз в десять дней, продолжительность для первого эксперимента составила 60 дней, для второго – 70.

Применяемые рыбоводно-биологические показатели рассчитывали по общепринятым методикам.

Среднесуточный прирост, применяемый для расчета увеличения живой массы рыбы в среднем за сутки, рассчитывали по И.Ф. Правдин (1966):

$$P_{\text{ср.сут}} = (m_k - m_0) / t,$$

где m_k – конечная масса молоди, г; m_0 – начальная масса молоди, г, t – продолжительность опыта, сут.

Коэффициент массонакопления

$$K_m = ((-m_k^{1/3} - m_0^{1/3}) * 3) / t,$$

где m_k – конечная масса молоди, г; m_0 – начальная масса молоди, г, t – продолжительность опыта, сут.

Абсолютный прирост

$$A = m_k - m_0,$$

где m_k – конечная масса молоди, г; m_0 – начальная масса молоди, г.

Относительный прирост

$$O = (m_k - m_0) / m_0 * 100,$$

где m_k – конечная масса молоди, г; m_0 – начальная масса молоди, г.

Относительная скорость роста

$$B = \frac{m_k - m_0}{0,5 * (m_k + m_0)} * 100,$$

где m_k – конечная масса молоди, г; m_0 – начальная масса молоди, г.

Статистическая обработка данных проведена с использованием программ Microsoft Office Excel 2021 и RStudio 2024.09.01+394. В обработке использовались тест Шапиро–Уилка для проверки нормальности распределения выборок, критерий Уилкоксона и критерий Стьюдента для проверки выборок на однородность.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Первым в серии экспериментов, проводимых в рамках исследования, было испытание штаммов *Enterococcus mundtii* и *Lactobacillus plantarum*.

За период наблюдений различия между группами в зоотехнических показателях незначительны (табл. 1, 2).

Таблица 1

Средние показатели массы групп первого эксперимента
Average weight indicators of the groups in the first experiment

Дата	Масса, г		
	Контроль (ОР)	Опыт 1 (ОР+Е)	Опыт 2 (ОР+L)
10 июля	16,33±0,51	16,29±0,50	16,47±0,63
21 июля	27,30±0,66	24,59±1,01	25,28±0,67
31 июля	43,23±1,53	38,30±1,82	39,21±1,08
9 августа	60,76±2,04	53,19±2,25	55,37±1,50
19 августа	78,57±3,30	71,64±3,19	73,56±2,60
28 августа	101,73±3,17	91,12±3,77	95,11±2,80
9 сентября	115,12±3,78	109,79±4,47	110,91±3,58

Примечание. ОР – основной рацион, ОР+Е – основной рацион+ *Enterococcus mundtii*, ОР+ *Lactobacillus plantarum*.

Таблица 2

Рыбоводно-биологические показатели первого эксперимента
Fish-farming and biological parameters of the first experiment

Показатель	Контроль (ОР)	Опыт 1 (ОР+Е)	Опыт 2 (ОР+L)
Общее количество, шт.	30	30	30
Выживаемость, шт.	29 (96,7 %)	29 (96,7 %)	30 (100 %)
Средняя масса рыбы, г исходная конечная	16,33±0,50 115,12±3,78	16,29±0,63 109,79±4,47	16,47±0,58 110,91±3,58
Абсолютный прирост, г/шт.	98,78	93,51	94,43
Среднесуточный прирост, г/шт.	1,62	1,53	1,55
Коэф. массонакопления	0,1145	0,1108	0,1112
Относительный прирост, %	604,80	574,13	573,25
Относительная скорость роста, %	2,46	2,43	2,43
Общая ихтиомасса, кг исходная конечная	0,490 3,338	0,489 3,184	0,494 3,212

Таблица 3

Относительный прирост групп первого эксперимента
Relative increase in the groups of the first experiment

Период наблюдений	Относительный прирост, %		
	Контроль (ОР)	Опыт 1 (ОР+Е)	Опыт 2 (ОР+L)
11.07 – 21.07	64,37	50,57	55,22
21.07 – 31.7	58,39	55,72	55,43
31.07 – 9.08	40,53	38,88	40,92
9.08 – 19.08	29,32	34,69	32,84
19.08 – 28.08	29,48	27,19	29,29
28.08 – 9.09	13,15	20,50	16,61

Таблица 4

Относительная скорость роста первого эксперимента
Relative growth rate of the first experiment

Период наблюдений	Относительная скорость роста, %		
	Контроль (ОР)	Опыт 1 (ОР+Е)	Опыт 2 (ОР+L)
11.07 – 21.07	4,87	4,04	4,33
21.07 – 31.7	4,52	4,36	4,34
31.07 – 9.08	3,37	3,26	3,40
9.08 – 19.08	2,56	2,96	2,82
19.08 – 29.08	2,85	2,66	2,84
28.08 – 9.09	1,03	1,55	1,28

Однако, если рассматривать показатели отдельно, можно заметить некоторые тенденции (табл. 3, 4). Так, видно, что относительная скорость роста и относительный прирост во всех группах постепенно снижаются, что нормально по мере взросления. Но кроме того заметно, как, начиная с четвертой декады, падение показателей опытных групп более мягкое, чем в контрольной. По данным на последнюю декаду эксперимента наибольшая относительная скорость роста зафиксирована в 1-й опытной группе, получавший с кормом микропрепарат штамма *Enterococcus*

muntzii (1,55 %), следом идет 2-я опытная группа (1,28 %), наименьшее значение зафиксировано в контрольной группе (1,03 %) (см. табл. 3).

Сходная картина наблюдается и по относительному приросту, в этом показателе разница, между 1-й опытной группой и контрольной составляет 7,35 %, а между 2-й опытной и контрольной 3,46 % (табл. 4).

Второй опыт был проведен с внесением в рацион микропрепаратов, содержащих штаммы *Bacillus licheniformis* 2336 и 162 St.

Таблица 5

Средние показатели массы групп второго эксперимента
Average weights of the groups in the second experiment

Дата	Масса, г		
	Опыт 1 (ОР+BL20)	Опыт 2 (ОР+162)	Контроль (ОР)
30 сентября	37,15 ± 1,34	38,37 ± 1,37	37,24 ± 1,54
10 октября	40,55 ± 1,72	42,76 ± 1,67	42,25 ± 1,81
20 октября	52,22 ± 2,60	50,42 ± 2,34	53,10 ± 2,68
30 октября	69,18 ± 3,39	68,82 ± 2,94	70,14 ± 3,36
9 ноября	83,12 ± 4,31	86,42 ± 3,53	84,66 ± 3,99
19 ноября	100,30 ± 5,39	106,97 ± 4,28	102,30 ± 3,96
29 ноября	117,86 ± 6,61	125,76 ± 5,04	116,36 ± 4,59
9 декабря	128,31 ± 7,63	130,58 ± 5,33	123,2 ± 5,21

Примечание. ОР – основной рацион, ОР+162 – основной рацион+ 162 St, ОР+BL20 – *Bacillus licheniformis* 2336.

Таблица 6

Рыбоводно-биологические показатели второго эксперимента
Fish-farming and biological parameters of the second experiment

Показатель	Опыт 1 (ОР+BL20)	Опыт 2 (ОР+162)	Контроль (ОР)
1	2	3	4
Общее количество, шт.	39	39	39
Выживаемость, шт.:	36 (92,31 %)	36 (92,31 %)	36 (92,31 %)

Окончание табл. 6

1	2	3	4
Средняя масса рыбы, г: исходная конечная	37,15 ± 1,34 128,31 ± 7,63	38,37 ± 1,37 130,58 ± 5,33	37,24 ± 1,54 123,2 ± 5,21
Абсолютный прирост, г/шт.	91,16	92,20	85,96
Среднесуточный прирост, г/шт.	1,32	1,34	1,25
Коэф. массонакопления	0,072	0,074	0,071
Относительный прирост, %	245,40	240,27	230,86
Относительная скорость роста, %	1,55	1,54	1,51
Общая ихтиомасса, кг исходная конечная	1,449 4,619	1,497 4,701	1,452 4,435

Во втором эксперименте наблюдается схожая картина: обобщенные показатели за весь период несильно отличаются между группами (табл. 5, 6). Однако в этом случае отстающие значения зафиксированы во 2-й опытной группе,

наивысшие же в опытной группе, получавшей вместе с рационом штамм *I62 St*. В последней декаде наблюдений масса рыб в 1-м опыте была на 4,25 %, во 2-м опыте на 7,61 % больше, чем в контроле.

Таблица 7

Относительный прирост групп второго эксперимента
Relative increase in groups of the second experiment

Период наблюдений	Относительный прирост, %		
	Опыт 1 (OP+BL20)	Опыт 2 (OP+I62)	Контроль (OP)
30.09 – 10.10	9,16	11,44	13,46
10.10 – 20.10	28,75	17,91	25,69
20.10 – 30.10	32,49	36,48	32,09
30.10 – 9.11	20,15	25,58	20,70
9.11 – 19.11	20,67	23,78	20,83
19.11 – 29.11	17,51	17,57	13,74
29.11 – 9.12	8,87	3,83	5,88

Таблица 8

Относительная скорость роста групп второго эксперимента
Relative growth rate of the groups in the second experiment

Период наблюдений	Относительная скорость роста, %		
	Опыт 1 (OP+BL20)	Опыт 2 (OP+I62)	Контроль (OP)
30.09 – 10.10	0,88	1,08	1,26
10.10 – 20.10	2,51	1,64	2,28
20.10 – 30.10	2,79	3,09	2,77
30.10 – 9.11	1,83	2,27	1,88
9.11 – 19.11	1,87	2,13	1,89
19.11 – 29.11	1,61	1,62	1,29
29.11 – 9.12	0,85	0,38	0,57

Статистические различия по массе в обоих экспериментах не обнаружены (критерий достоверности $P < 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По данным обоих экспериментов наблюдается отсутствие значимых отличий опытных групп от контрольных, что подтверждается при статистической обработке данных. Схожая картина наблюдается в исследованиях Г.И. Прониной [15]. Ею проведены опыты по выявлению эффективности таких пробиотических добавок, как «Субтилис-С» и «Энзимоспорин», в состав которых входит штамм *Bacillus licheniformis*, как и во втором нашем эксперименте, на Нильской тилипии (*Oreochromis niloticus*) и стерляди соответственно. В обеих работах авторами не замечено статистической разницы между опытными и контрольными группами по набору массы [15, 16]. В их исследованиях отмечается изменение в показателях относительной скорости роста на поздних этапах наблюдения [16]. Кроме того, авторами проводятся гематологические исследования, по результатам которых авторы отмечают положительное влияние добавок на иммунные функции крови. Подобные результаты с отсутствием достоверных различий по средней массе видны в работах В.П. Масликова и Н.И. Кочеткова [10, 20]. Оба коллектива исследуют добавки с присутствием в составе штаммов молочнокислых бактерий. В.П. Масликовым и др. отмечено преимущество опытных групп над контролем начиная с 40-го дня наблюдений и достигающее в их финале 12,12 % [10]. В нашем первом эксперименте видна схожая картина с повышением показателей относительного прироста и относительной скорости роста с четвертой декады (см. табл. 3, 4). Н.И. Кочетков и др. обнаруживают статистически значимые различия (в пользу опытных групп) в показателе коэффициента упитанности по Фултону [20].

Во всех вышеперечисленных работах продолжительность наблюдений, как и в наших, составляла 60–70 сут. С учетом улучшения показателей относительного прироста и относительной скорости роста на последних стадиях наблюдений (см. табл. 3, 4, 7, 8), можно предположить, что преимущество пробиотических добавок раскрывается на длинной дистанции, когда в результате взросления снижаются приросты, выбранные микроорганизмы могут смягчить и растянуть этот процесс. Для раскрытия потенциала недостаточно

60 дней испытаний, требуется повторное проведение эксперимента с увеличенными сроками.

Так, в испытаниях пробиотических добавок «Пролам», «Бацилл» и «Споротермин», проводимых на молоди русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii*), период наблюдений составил 90 дней. В конце эксперимента группы, получавшие с основным рационом пробиотические добавки, имели статистически значимые различия с контролем (две из них с критерием $P < 0,001$). Самые высокие значения (на 15,8 % крупнее контроля) имела группа с штаммом *Bacillus licheniformis* в составе [17].

Однако увеличение длительности наблюдений не всегда приводит к обнаружению эффективности пробиотической добавки. Например, в исследованиях Ю.И. Есавкина были проведены испытания на радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) препарата «Энзимоспорин» в течение 129 сут [12]. Как и в исследованиях Г.И. Прониной [16], не обнаружено статистически значимых различий по средней массе, однако отмечено преимущество опытных групп по показателям среднесуточного прироста, выживаемости и рыбопродуктивности [12].

Кроме того, есть исследования, в которых действие пробиотика видно и на более коротких сроках проведения эксперимента. Например, испытания Бацифолина А и Басулифора А, результатом которых стал стабильный перевес в средней массе в опытных группах, проводился всего 31 день [21]. Или эксперимент с испытанием «ЛикваФид» и «Ветом 2», где показатель абсолютного прироста в опыте в 1,4–1,7 раза выше, чем в контроле [19].

Из этого следует, что в проведении исследований по определению эффективности пробиотических добавок недостаточно только увеличить сроки наблюдений, необходимо сосредоточить внимание на биологических показателях рыб (абсолютные, относительные, среднесуточные приросты, относительной скорости роста, коэффициенты массонакопления, коэффициенты упитанности), а также следует проводить иммунологические и микробиологические анализы опытных групп.

В нашем же исследовании рассмотрены показатели относительной скорости роста и относительного прироста, в которых во втором эксперименте во всех группах заметны скачкообразные движения значений в первые двадцать дней (см. табл. 7, 8). С третьей декады показатели приобретают более линейные значения, благода-

ря чему можно заметить преимущество второй опытной группы. Так, на пятидесятый день эксперимента, наибольшие значения в относительном приросте и относительной скорости роста зафиксированы во второй опытной группе – 23,78 % и 2,13 % соответственно. Однако уже в следующей декаде показатели опытных групп приобретают сходные значения, а на семидесятый день значения прироста и скорости роста в первой опытной группе и контрольной группе резко падают. Преимущество у опытной группы, получавшей с кормом *Bacillus licheniformis* 233 (8,87 и 0,85 % соответственно).

Во втором опыте видно, что на протяжении всего периода наблюдений отмечается преимущество групп, получавших с кормом пробиотические штаммы. Наивысшие значения показала группа с внесением в корм штамма *162 St*.

ВЫВОДЫ

1. В первом эксперименте лучшие показатели прироста средней массы были отмечены

в опытных группах. Из них наиболее высокие значения относительного прироста показали группы молоди стерляди при скормливания *Enterococcus mundtii* – 20,50 %, *Lactobacillus plantarum* – 16,61 % и относительной скорости роста составляла *Enterococcus mundtii* – 1,55 %, *Lactobacillus plantarum* – 1,28 %.

2. По результатам второго эксперимента контрольная группа показала наименьшие результаты по средней массе ($123,2 \pm 5,21$ г), самые высокие значения у опытной группы с применением штамма *162 St* – $130,58 \pm 5,33$ г, у группы *Bacillus licheniformis* 2336 – $128,31 \pm 7,63$ г. По показателям относительного прироста и относительной скорости роста опытные группы также опережали контроль.

3. Для решения о пробиотическом потенциале и составлении консорциума всем выбранным штаммам необходимы дальнейшие исследования с увеличением периода наблюдения. Кроме того необходим анализ по гематологическим показателям, а также анализ микробного сообщества кишечника в конце исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дун С. Обеспечение устойчивого развития аквакультуры путем повышения естественного иммунитета культивируемых рыб // XXV юбилейные Царскосельские чтения: мат-лы междунар. науч. конф. – СПб., 2021. – С. 77–82. – DOI: 10.21443/3034-1434-2024-2-3-64-82.
2. Челядникова Ю.А., Мусатов Г.А. Влияние антибиотиков на слизистую оболочку и симбиотические организмы кишечника // Современные проблемы естественных наук и медицины: сб. стат. Всерос. науч. конф. – Йошкар-Ола, 2020. – С. 517–520.
3. Host habitat is the major determinant of the gut microbiome of fish/ P.S. Kim, N.R. Shin, J.B. Lee [et al.] // Microbiome – 2021. – Vol. 9, № 1. – P. 166. – DOI: 10.1186/s40168-021-01113-x.
4. The gut microbiome and aquatic toxicology: An emerging concept for environmental health / O. Adamovsky, A.N. Buerger, A.M. Wormington [et al.] // Environmental toxicology and chemistry – 2018. – Vol. 37, № 11. – P. 2758–2775. – DOI: 10.1002/etc.4249.
5. Park J., Kim E.B. Insights into the Gut and Skin Microbiome of Freshwater Fish, Smelt (*Hypomesus nipponensis*) // Current microbiology – 2021. – Vol. 78, № 5. – P. 1798–1806. – DOI: 10.1007/s00284-021-02440-w.
6. Gut Microbiome as a Potential Biomarker in Fish: Dietary Exposure to Petroleum Hydrocarbons and Metals, Metabolic Functions and Cytokine Expression in Juvenile *Lates calcarifer* / F. Spilsbury, J. Foysal, C.Y. Tay [et al.] // Frontiers in Microbiology – 2022. – Vol. 13. – DOI: 10.3389/fmicb.2022.827371.
7. Современные исследования по изучению микробиома кишечника рыб / М.С. Зуева, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. – 2023. – Т. 106, № 2. – С. 198–213.
8. Хамад Х.А. К вопросу эффективного использования пробиотиков в аквакультуре // Балтийский морской форум: мат-лы X Междунар. Балтийского морского форума: в 7 т., – Калининград, 2022. – С. 143–148.
9. Эффективность применения пробиотиков в аквакультуре / В.А. Шилова, Е.А. Гайдук, А.А. Иванов, Г.А. Пономарев // Инновационные технологии в АПК: теория и практика: сб. статей XII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2024. – С. 265–268.
10. Эффективность использования синбиотического препарата «Простор» в качестве добавок в комбикорм при выращивании сеголеток карпа в прудовых условиях / В.П. Масликов, З.И. Легкодимова, Г.В. Сильникова [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2022. – № 1. – С. 70–79.
11. Биологическое действие кормовых пробиотических добавок «Субтилис-Ж» и «АТЫШ» на организм годовиков карпа / Ю.В. Килякова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, К.А. Салдеева // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2022. – № 11. – С. 775–782.

12. Использование кормовой добавки «Энзимспорин» при выращивании двухлетков радужной форели / Ю.И. Есавкин, А.В. Жигин, А.А. Максименкова [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2023. – № 1. – С. 53–65.
13. Use of probiotics in aquaculture of China-a review of the past decade / A.R. Wang, C. Ran, Y.B. Wang [et al.] // Fish. Shellfish Immun. – 2019. – Vol. 86, № 11. – P. 734–755. – DOI: 10.1016/j.fsi.2018.12.026.
14. Prevalence of virulence genes and antibiotic susceptibility of *Bacillus* used in commercial aquaculture probiotics in China / M.A. Anokyewaa, K. Amoah, Y. Li [et al.] // Aquac. Rep. – 2021. – Vol. 21. – DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100784.
15. Применение пробиотика «Субтилис-С» при разведении нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*) / Г.И. Пронина, О.В. Саная, В.В. Дернаков [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2022. – № 3. – С. 201–209.
16. Влияние пробиотика «Энзимспорин» на рост, жизнестойкость и физиологическое состояние стерляди в условиях УЗВ / Г.И. Пронина, Э.В. Бубунец, А.Р. Федотова, Р.В. Желанкин // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2023. – № 1. – С. 53–65.
17. Влияние применения пробиотиков на рыбоводно-биологические показатели и приросты осетровых рыб / Д.А. Юрин, Е.А. Максим, Д.В. Осепчук [и др.] // Сб. науч. тр. Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2022. – Т. 11, № 1. – С. 100–104.
18. Гераскин П.П., Ковалева А.В., Григорьев В.А. Влияние пробиотиков на функциональное состояние производителей стерляди // Фундаментальные исследования, инновационные технологии и передовые разработки в интересах долгосрочного развития Юга России: мат-лы Междунар. науч. форума, посвящ. 20-летию ЮНЦ РАН. – Ростов н/Д, 2023. – С. 223–226.
19. Сравнительная характеристика влияния пробиотиков «Ветом 2» и «ЛикваФид» при выращивании радужной форели в ИП романов (Ленинградская область) / Т.А. Нечаева, Л.А. Ильина, В.А. Назаров [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2023. – № 11. – С. 744–754. – DOI: 10.33920/sel-09-2311-04.
20. Положительный опыт применения штамма *Lactobacillus brevis* 47f на рыбоводнобиологические, 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.
21. Цицкиева К.Р., Бетляева Ф.Х., Маркин Ю.В. Влияние пробиотиков различного микробиологического состава на рост, интерьерные показатели и микрофлору пищеварительного тракта молоди стерляди (*Acipenser ruthenus* L. 1758) // Рыбное хозяйство. – 2025. – № 2. – С. 91–99. – DOI: 10.36038/0131-6184-2025-2-91-99.

REFERENCES

1. Dun S., XXV yubileynye Tsarskosel'skie chteniya (25th Anniversary Tsarskoye Selo Readings), Scientific conference materials, Sankt-Peterburg 2021, pp. 77–82, DOI: 10.21443/3034-1434-2024-2-3-64-82. (In Russ.)
2. Chelyadnikova Yu.A., Musatov G.A., *Sovremennyye problemy estestvennykh nauk i meditsiny* (Modern problems of natural sciences and medicine), Scientific conference materials, Yoshkar-Ola, 2020, pp. 517–520. (In Russ.)
3. Kim P.S., Shin N.R., Lee J.B. [et al.], *Host habitat is the major determinant of the gut microbiome of fish*, *Microbiome*, 2021, Vol. 9, No. 1, ppt. 166, DOI: 10.1186/s40168-021-01113-x.
4. Adamovsky O., Buerger A.N., Wormington A.M. [et al.], *The gut microbiome and aquatic toxicology: An emerging concept for environmental health*, *Environmental toxicology and chemistry*, 2018, Vol. 37, No. 11, pp. 2758–2775, DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.4249>.
5. Park J., Kim E.B., *Insights into the Gut and Skin Microbiome of Freshwater Fish, Smelt (Hypomesus nipponensis)*, *Current microbiology*, 2021, Vol. 78, No. 5, pp. 1798–1806, DOI: 10.1007/s00284-021-02440-w.
6. Spilsbury F., Foysal J., Tay C.Y. [et al.], *Gut Microbiome as a Potential Biomarker in Fish: Dietary Exposure to Petroleum Hydrocarbons and Metals, Metabolic Functions and Cytokine Expression in Juvenile Lates calcarifer*, *Frontiers in Microbiology*, 2022, Vol. 13, DOI: 10.3389/fmicb.2022.827371.
7. Zueva M.S., Miroshnikova E.P., Arinzhanov A.E., Kilyakova Yu.V., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2023, Vol. 106, No. 2, pp. 198–213. (In Russ.)
8. Khamad Kh.A., *Baltiyskiy morskoy forum* (Baltic Maritime Forum), Scientific conference materials, Kaliningrad, 2022, T. 3, pp. 143–148. (In Russ.)
9. Shilova V.A., Gayduk E.A., Ivanov A.A., Ponomarev G.A., *Innovatsionnye tekhnologii v APK: teoriya i praktika* (Innovative technologies in the agro-industrial complex: theory and practice), Scientific conference materials, Penza, 2024, pp. 265–268. (In Russ.)
10. Maslikov V.P., Legkodimova Z.I., Sil'nikova G.V. [i dr.], *Rybovodstvo i rybnoye khozyaystvo*, 2022, No. 1, pp. 70–79. (In Russ.)
11. Kilyakova Yu.V., Miroshnikova E.P., Arinzhanov A.E., Saldeeva K.A., *Rybovodstvo i rybnoye khozyaystvo*, 2022, No. 11, pp. 775–782. (In Russ.)

12. Esavkin Yu.I., Zhigin A.V., Maksimenkova A.A., Grikshas S.A., Pavlov A.D., *Rybovodstvo i rybnoe khozyaystvo*, 2023, No. 1, pp. 53–65. (In Russ.)
13. Wang A.R., Ran C., Wang Y.B. [et al.], Use of probiotics in aquaculture of China—a review of the past decade, *Fish. Shellfish Immun.*, 2019, Vol. 86, No. 11, pp. 734–755, DOI: 10.1016/j.fsi.2018.12.026.
14. Anokyewaa M.A., Amoah K., Li Y. [et al.], Prevalence of virulence genes and antibiotic susceptibility of *Bacillus* used in commercial aquaculture probiotics in China, *Aquac. Rep.*, 2021, Vol. 21, DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100784.
15. Pronina G.I., Sanaya O.V., Dernakov V.V. [i dr.], *Rybovodstvo i rybnoe khozyaystvo*, 2022, No. 3, pp. 201–09. (In Russ.)
16. Pronina G.I., Bubunets E.V., Fedotova A.R., Zhelankin R.V., *Rybovodstvo i rybnoe khozyaystvo*, 2023, No. 1, pp. 53–65. (In Russ.)
17. Yurin D.A., Maxim E.A., Osepchuk D.V. [i dr.], *Sbornik nauchnykh trudov Krasnodarskogo nauchnogo tsentra po zootehnii i veterinarii*, 2022, Vol. 11, No. 1, pp. 100–04. (In Russ.)
18. Geraskin, P.P., Kovaleva A.V., Grigoriev V.A., *Fundamentalnye issledovaniya, innovatsionnye tekhnologii i pere-dovye razrabotki v interesakh dolgosrochnogo razvitiya Yuga Rossii* (Fundamental research, innovative technologies and advanced developments for the long-term development of Southern Russia), Rostov-na-Donu, 2023, pp. 223–26. (In Russ.)
19. Nechaeva T.A., Ilina L.A., Nazarov V.A., Kovalchuk M.I., Zaikin V.A., *Rybovodstvo i rybnoe khozyaystvo*, 2023, No. 11, pp. 744–754, DOI: 10.33920/sel-09-2311-04. (In Russ.)
20. Kochetkov N.I., Nikiforov-Nikishin D.L., Smorodinskaya S.V. [i dr.], *Rybnoe khozyaystvo*, 2024, No. 4, pp. 96–107, DOI: 10.36038/0131-6184-2024-4-96-107. (In Russ.)
21. Tsitskiewa K.R., Betlyayeva F.Kh., Markin Yu.V., *Rybnoe khozyaystvo*, 2025, No. 2, pp. 91–99, DOI: 10.36038/0131-6184-2025-2-91-99. (In Russ.)

Информация об авторах:

А.И. Михайлов, младший научный сотрудник
 И.В. Морузи, доктор биологических наук
 Г. В. Калмыкова, кандидат биологических наук
 С.Н. Магер, доктор биологических наук
 Е.В. Пищенко, доктор биологических наук
 С.В. Севастеев, кандидат биологических наук
 П.В. Белоусов, кандидат биологических наук
 Д.В. Кропачев, кандидат биологических наук

Contribution of the authors:

A.I. Mikhailov, junior researcher
 I.V. Moruzi, Doctor of Biological Sciences
 G.V. Kalmykova, Candidate of Biological Sciences
 S.N. Mager, Doctor of Biological Sciences
 E.V. Pishchenko, Doctor of Biological Sciences
 S.V. Sevasteev, Candidate of Biological Sciences
 P.V. Belousov, Candidate of Biological Sciences
 D.V. Kropachev, Candidate of Biological Sciences

Вклад авторов:

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

ВЛИЯНИЕ МИКРОБНОГО БЕЛКА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ТКАНЕВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ У НИЛЬСКОЙ ТИЛЯПИИ (*Oreochromis niloticus*)

^{1,2}С.В. Пономарев, ¹Ю.В. Федоровых, ¹А.Б. Ахмеджанова, ¹О.А. Левина, ³П.А. Нюньков, ¹Н.В. Терганова

¹Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

²Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, Россия

³ООО «Гипробiosiнтез», Москва, Россия

E-mail: lab.sturgeon@yandex.ru

Для цитирования: Влияние микробного белка на физиологическое состояние и тканевое распределение макро- и микроэлементов у нильской тилляпии (*Oreochromis niloticus*) / С.В. Пономарев, Ю.В. Федоровых, А.Б. Ахмеджанова О.А. Левина, П.А. Нюньков, Н.В. Терганова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 236–246. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-236-246.

Ключевые слова: белок, добавка, аквакультура, тилляпия, микроэлементы, физиология, кормление.

Реферат. В контексте динамичного развития аквакультуры оптимизация рационов и поддержание здоровья рыб приобретают первостепенное значение. Настоящая работа посвящена исследованию воздействия белково-минеральной кормовой добавки ДРИМФИД® на физиологический статус сеголеток нильской тилляпии (*Oreochromis niloticus*) и динамику аккумуляции и резорбции ключевых микроэлементов в их тканях и органах. Экспериментальный комбикорм с ДРИМФИД® отличался повышенным содержанием белка (64,3 %) и сниженным уровнем жира (8,9 %) в сравнении с контрольным образцом. Микроэлементный анализ выявил существенное увеличение концентрации меди (299 мг/кг) и калия (7290 мг/кг) в опытной группе, в то время как в контрольном корме значения составили 11,3 и 4480 мг/кг соответственно. У рыб, получавших ДРИМФИД®, наблюдались стабильные показатели глюкозы в крови, находящиеся в пределах 4–5,7 ммоль/л, что соответствует оптимальному диапазону (5,0–6,0 ммоль/л). Анализ лейкограммы выявил увеличение палочкоядерных нейтрофилов (12,9 %) и моноцитов (8 %) у контрольных особей, что может свидетельствовать о развитии воспалительных процессов. В группе, получавшей ДРИМФИД®, данные показатели находились в пределах нормы. Изучение динамики макро- и микроэлементов в тканях и органах продемонстрировало общие тенденции, однако были зафиксированы и специфические различия, обусловленные разным составом рационов. Результаты проведенного исследования подтверждают эффективность использования кормовой добавки ДРИМФИД® для улучшения физиологического состояния нильской тилляпии и повышения ее продуктивных характеристик.

THE EFFECT OF MICROBIAL PROTEIN ON THE PHYSIOLOGICAL STATE AND TISSUE DISTRIBUTION OF MACRO- AND MICROELEMENTS IN NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)

^{1,2}S.V. Ponomarev, ¹Yu.V. Fedorovych, ¹A.B. Akhmedzhanova, ¹O.A. Levina, ³P.A. Nunkov, ¹N.V. Terganova

¹Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

²Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MBA named after K.I. Skryabin, Moscow, Russia

³Giprobiosisynthesis LLC, Moscow, Russia

E-mail: lab.sturgeon@yandex.ru

Keywords: protein, supplement, aquaculture, tilapia, trace elements, physiology, feeding.

Abstract. In the context of the dynamic development of aquaculture, optimizing diets and maintaining fish health are of paramount importance. This work is devoted to the study of the effect of the protein-mineral feed additive DREAMFID® on the physiological status of fingerlings of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and the dynamics of accumulation and resorption of key trace elements in their tissues and organs. The experimental mixed feed with DREAMFID® was characterized by an increased protein content (64.3 %) and a reduced fat level (8.9 %) compared with the control sample. Trace element analysis revealed a significant increase in the concentrations of copper (299 mg/kg) and potassium (7290 mg/kg) in the experimental group, while in the control feed the values were 11.3 mg/kg and 4480 mg/kg, respectively. In fish treated with DREAMFID®, stable blood glucose levels were

observed, ranging from 4–5.7 mmol/l, which corresponds to the optimal range (5.0–6.0 mmol/l). Analysis of the leukogram revealed an increase in rod-shaped neutrophils (12.9 %) and monocytes (8 %) in control individuals, which may indicate the development of inflammatory processes. In the group receiving DREAMFID®, these indicators were within the normal range. The study of the dynamics of macro- and microelements in tissues and organs demonstrated general trends, however, specific differences due to different composition of diets were also recorded. The results of the study confirm the effectiveness of using the feed additive DREAMFID® to improve the physiological state of the Nile tilapia and increase its productive characteristics.

Современная аквакультура стремится к интенсификации производства, что обуславливает повышенное внимание к использованию биологически активных веществ (БАВ) в рационах гидробионтов для оптимизации роста, поддержания иммунитета и повышения резистентности к заболеваниям [1–3]. Отечественные научные школы активно разрабатывают инновационные кормовые решения, адаптированные к условиям российского рынка, с акцентом на использование БАВ, что подтверждается рядом актуальных исследований [4–6].

В условиях растущих потребностей аквакультуры в высококачественных и экологически устойчивых источниках белка перспективным направлением является применение микробного белка, получаемого на основе природного газа. Данный подход позволяет не только повысить питательную ценность кормов, но и снизить зависимость от традиционных источников, таких как рыбная мука, актуальность которой возрастает на фоне ограниченности природных ресурсов. В России исторически существовал значительный научно-технологический потенциал и производственные мощности для получения микробного белка из углеводородного сырья, несмотря на последующую ликвидацию предприятий [7–9].

Современные разработки, ведущиеся специалистами ООО «Гипробiosинтез», направлены на восстановление и совершенствование данной технологии, базирующейся на штамме *Methylococcus capsulatus* ГБС-15. Данный штамм, депонированный во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов, обладает уникальными технологическими характеристиками, обеспечивающими его эффективное применение в промышленных масштабах.

Штамм *Methylococcus capsulatus* ГБС-15 демонстрирует ряд значительных преимуществ: повышенную устойчивость к продуктам соокисления гомологов метана, позволяющую использовать природный газ с вариативным составом; способность к автотрофной фиксации углекислого газа, снижающую коэффициент потребления субстрата; фагоустойчивость; устойчивость к кратковременным колебаниям температуры и давления; конкурентоспособность по отношению к другим метанокисляющим бактериям и термо-

толерантность. Важно отметить, что штамм не является патогенным, не содержит генетически модифицированных элементов и не включает гены других организмов.

Настоящее исследование посвящено оценке эффективности кормовой добавки ДРИМФИД®, представляющей собой концентрат микробного белка, полученного на основе штамма ГБС-15, в качестве белково-минерального компонента рационов нильской тилляпии. Основное внимание уделяется влиянию данной добавки на физиологическое состояние рыб, а также на процессы накопления и резорбции важных микроэлементов в их организме.

Цель исследования – оценить эффективность включения кормовой добавки ДРИМФИД® в рацион нильской тилляпии в качестве белково-минерального компонента. Исследование направлено на выявление влияния данной добавки на физиологический статус рыб, а также на детальное изучение процессов аккумуляции и элиминации меди, калия и других эссенциальных микроэлементов в различных органах и тканях.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- 1) разработка экспериментальной партии комбикорма с существенным замещением рыбной муки (94 %) кормовой добавкой ДРИМФИД® и проведение апробации данного рациона на сеголетках нильской тилляпии;
- 2) оценка физиологических показателей при использовании разработанных экспериментальных рационов;
- 3) изучение динамики накопления меди в организме тилляпии в течение всего периода выращивания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В целях оценки эффективности разработанных рецептур комбикормов для аквакультуры были проведены экспериментальные исследования на нильской тилляпии (*Oreochromis niloticus*) как модельном объекте. Эксперименты осуществлялись в контролируемых условиях аквариального комплекса и лаборатории НИЛ «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры» ФГБОУ ВО Астраханский государственный технический

университет. Детальное описание используемых материалов, методов содержания, кормления и последующего анализа представлено ниже.

В качестве объекта исследования использовали сеголеток нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*). Эксперименты проводились в стеклянных аквариумах объемом 400 л, оснащенных системами принудительной аэрации, фильтрации и терморегуляции. Плотность посадки сеголеток составляла 100 особей на аквариум, при этом для каждой группы (опытной и контрольной) было предусмотрено по две повторности. Опытный комбикорм был изготовлен в лабораторных условиях с использованием методов прессования, сушки и фракционирования. Содержание кормовой добавки ДРИМФИД® в опытном комбикорме составляло 94 %, рецептура также включала 1 % премикса и 5 % рыбьего жира. В качестве контрольного корма использовался коммерческий комбикорм производства ООО «БИФФ» (Астраханская область), состав которого включал: рыбную муку (35 %), мясную муку (20 %), кровяную муку (5 %), пшеничную муку (22 %), кукурузный глютен (10 %), рыбий жир (7 %) и премикс (1 %).

Кормление осуществлялось в соответствии с суточными нормами и кормовыми таблицами, основанными на массе рыбы и температуре воды (25–26 °C) [10].

Для сравнительной оценки эффективности кормов проводился анализ физиолого-биохимических показателей крови. Забор крови для анализа осуществлялся прижизненно из хвостовой вены с использованием пробирок Эппендорфа в начале и по завершении эксперимента.

Определение лейкоцитарной формулы крови проводилось на окрашенных гематологических препаратах с использованием иммерсионной микроскопии (увеличение 100/1,25) согласно общепринятым методикам [11–13].

Для биохимического анализа образцы крови отбирали в пробирки без гепарина, позволяя крови коагулировать для получения сыворотки. Содержание холестерина, предшественника гормонов, играющего важную роль в иммунной системе и участвующего в метаболических процессах, определяли энзиматическим методом с использованием набора реактивов фирмы «Ольвекс диагностикум» [14, 15].

Определение общих липидов в сыворотке крови проводилось с использованием набора реактивов фирмы PLIVA – Lachema [16]. Уровень бета-липопротеидов определяли по методу Бурштейна [17].

Содержание микроэлементов (Cu, Zn, Mn, K, Co, Mg, Fe, Cr) в печени, мышечной и костной тканях, а также в тканях головы определялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре «Квант-2А».

Длительность экспериментального периода выращивания составила 120 сут.

Полученные данные подвергались статистической обработке с использованием методов вариационной статистики в программном пакете Excel [18]. При этом рассчитывались среднее значение, ошибка среднего. Достоверность различий между группами оценивалась с использованием *t*-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Состояние организма рыб в исследуемых условиях культивирования оценивали на основании анализа физиолого-биохимических показателей крови, как чувствительных индикаторов общего состояния и метаболических процессов.

В динамике показателей белкового обмена в обеих экспериментальных группах наблюдалась сходная картина: на втором месяце выращивания отмечался пик концентрации альбумина (35,4 г/л в опытной группе и 30,9 г/л в контрольной), что соответствовало превышению относительно исходных значений на 15,25 %. В дальнейшем происходило снижение уровня альбумина до 30,0 и 25 г/л (16,67 %), однако зарегистрированные значения оставались выше первоначальных (28,0 и 22,7 г/л).

Переходя к оценке липидного обмена, следует отметить, что динамика концентрации холестерина не выявила выраженных различий между исследуемыми группами. В опытной группе отмечались незначительные колебания уровня холестерина (снижение с 3,1 до 3,0 ммоль/л с последующим повышением до 3,8 ммоль/л на третьем месяце эксперимента). Аналогичные изменения наблюдались и в контрольной группе (снижение концентрации холестерина с 3,8 до 3,5 ммоль/л). Важно отметить, что во всех случаях зарегистрированные значения находились в пределах физиологических границ для рыб.

В отличие от холестерина концентрация β -липопротеидов демонстрировала иную динамику. В контрольной группе на начальном этапе выращивания уровень β -липопротеидов был существенно ниже (0,85 г/л), однако в ходе эксперимента произошло его увеличение до 2,3 г/л. В опытной группе уровень β -липопротеидов варьировал в пределах 2,2–3,1 г/л.

Наряду с показателями белкового и липидного обмена важную информацию о состоянии

организма предоставляет анализ лейкоцитарной формулы крови, являющейся ценным индикатором общего физиологического состояния и активности клеточного иммунитета. Статистически значимые различия между группами были обнаружены при анализе содержания палочкоядерных нейтрофилов. В контрольной группе этот показатель достиг максимального значения к концу эксперимента ($12,9 \pm 0,18$ %), превысив исходный уровень (9,8 %). В опытной группе,

напротив, наблюдалось снижение количества нейтрофилов на 1,1 % в течение периода выращивания. Кроме того, лейкограмма рыб контрольной группы демонстрировала значительное увеличение количества моноцитов: с 2,2 до 8 %.

В рамках исследования был проведен анализ содержания макро- и микроэлементов в органах и тканях рыб исследуемых групп. Результаты анализа содержания меди представлены на рис. 1.

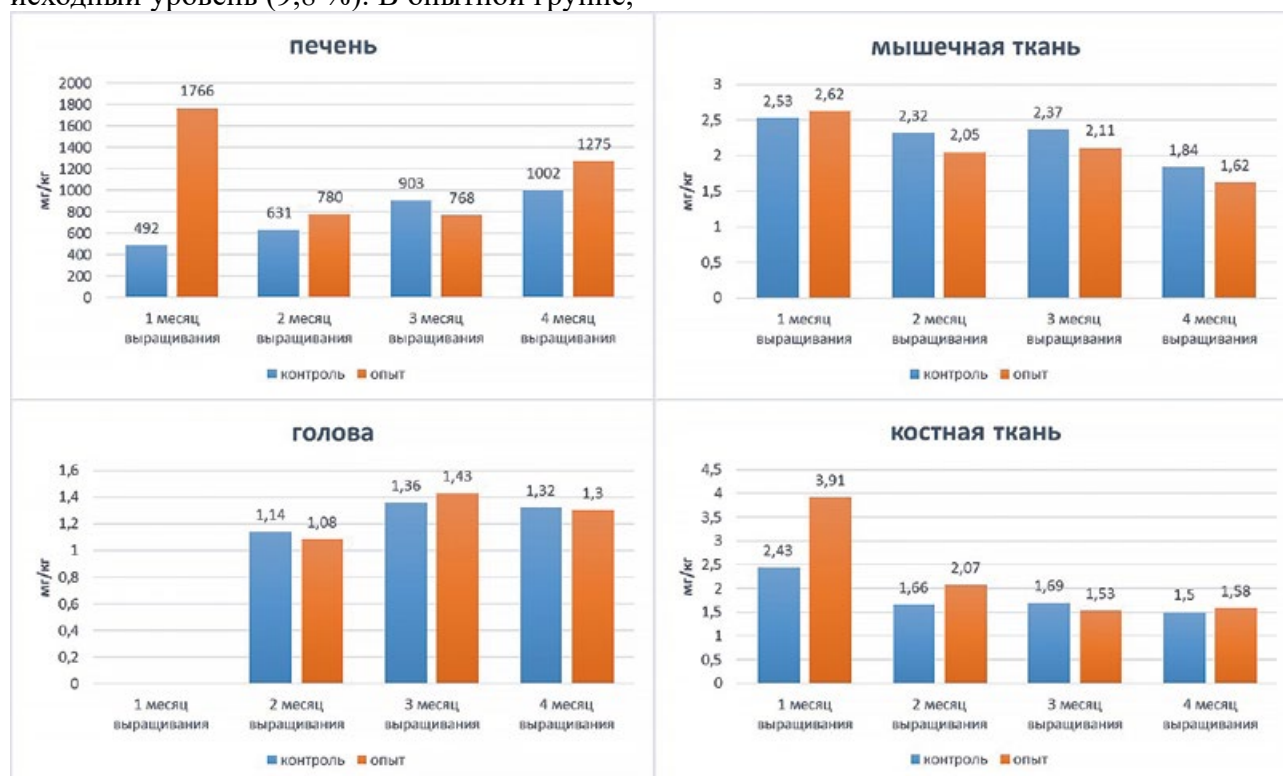


Рис. 1. Динамика изменения содержания меди в тканях и органах рыб
Dynamics of changes in copper content in fish tissues and organs

Исходный уровень меди в печени опытной группы превышал аналогичный показатель в контрольной группе на 1274 мг/кг. В дальнейшем в ходе эксперимента содержание меди в обеих группах варьировало в пределах 631–780 мг/кг. К концу эксперимента уровень меди в опытной группе составил 1275 мг/кг, что на 272 мг/кг выше, чем в контрольной группе (превышение на 21,41 %). Содержание меди в мышечной ткани в обеих группах к концу эксперимента снизилось: в опыте с 2,62 до 1,62 мг/кг, в контроле – с 2,53 до 1,84 мг/кг. В тканях головы у обеих групп произошло незначительное увеличение содержания меди: в опыте на 0,22 мг/кг, в контроле на 0,18 мг/кг. Анализ содержания меди в костной ткани рыб выявил снижение ее концентрации в обеих группах за период выращивания. При этом снижение было более выраженным у опытных экземпляров, получавших корм с ДРИМФИД®

(с 3,91 до 1,58 мг/кг, что соответствует 59,59 %), чем в контрольной группе (с 2,43 до 1,5 мг/кг, или 38,27 %). Данная динамика, вероятно, отражает перераспределение меди между различными тканями и органами в процессе роста и развития рыб.

Вместе с тем анализ содержания цинка продемонстрировал иную картину. Согласно полученным экспериментальным данным, накопление цинка происходило преимущественно в печени обеих групп рыб, что может указывать на важную роль печени в депонировании и регуляции метаболизма цинка независимо от рациона питания. В опытной группе, получавшей ДРИМФИД®, содержание цинка увеличилось с 66,7 до 92,5 мг/кг (на 39 %) в период со второго месяца выращивания до конца эксперимента. В контрольной группе прирост был менее выраженным и составил 7,76 % (с 77,3 до 83,3 мг/кг). В остальных исследованных тканях и органах наблюдалась противоположная тенденция: сни-

жение концентрации цинка. Особенно заметным это было в мышечной ткани, где концентрация цинка составила 9,7 мг/кг в опытной группе и 25,1 мг/кг в контрольной.

Переходя к анализу распределения марганца, следует отметить, что динамика его содержания в мышечной ткани и печени была сходной для обеих групп: незначительное увеличение в печени и снижение в мышечной ткани. Однако в костной ткани и тканях головы наблюдались существенные различия между группами, особенно в контроле. Разница в содержании марганца на третьем месяце выращивания составила 8,67 мг/кг в костной ткани (с преобладанием в контрольной группе на 76,7 %) и 4,32 мг/кг в тканях головы (с преобладанием в контроле на 75,56 %).

В отличие от цинка и марганца значения калия в исследуемых тканях оставались относительно стабильными после первого месяца выращивания, достигая максимальных показателей в мышечной ткани (21,89 г/кг – опытная группа, 1-й месяц выращивания) и печени (15,0 г/кг – опытная группа, 1-й месяц выращивания), что может указывать на эффективную регуляцию гомеостаза калия в данных условиях.

Анализ содержания микроэлементов в тканях рыб выявил, что кобальт регистрировался в следовых значениях или не был обнаружен совсем, что может быть связано с его низким содержанием в используемых кормах.

В отличие от кобальта, магний обнаружился в значительных количествах в тканях рыб обеих групп. Максимальные значения магния были отмечены в костной и мышечной тканях (1789 мг/кг в контроле и 1718 мг/кг в опыте), при этом достоверных различий в содержании этого элемента между контрольной и опытной группой не зарегистрировано. Минимальное количество магния было обнаружено в печени (483 и 476 мг/кг в опыте и контроле на 4-й месяц выращивания соответственно), что может указывать на особенности метаболизма магния в этом органе.

Переходя к анализу содержания железа, необходимо отметить, что в мышечной, костной ткани и тканях головы достоверных отличий между группами также не выявлено. Изменения в его содержании происходили сходным образом в обеих группах. Однако в печени количество железа в контрольной группе было значительно выше на протяжении всего периода выращивания. Если на начальном этапе в печени контрольной группы было обнаружено 262 мг/кг железа, а в опытной на 54 мг/кг выше, то в дальнейшем разница между группами стала еще более заметной: в опыте содержание элемента к концу выращивания увеличилось лишь на 3 мг/кг, в то время как в контроле произошло увеличение на 630 мг/кг.

В завершение анализа микроэлементного состава тканей рыб рассмотрим динамику содержания хрома, представленную на рис. 2.

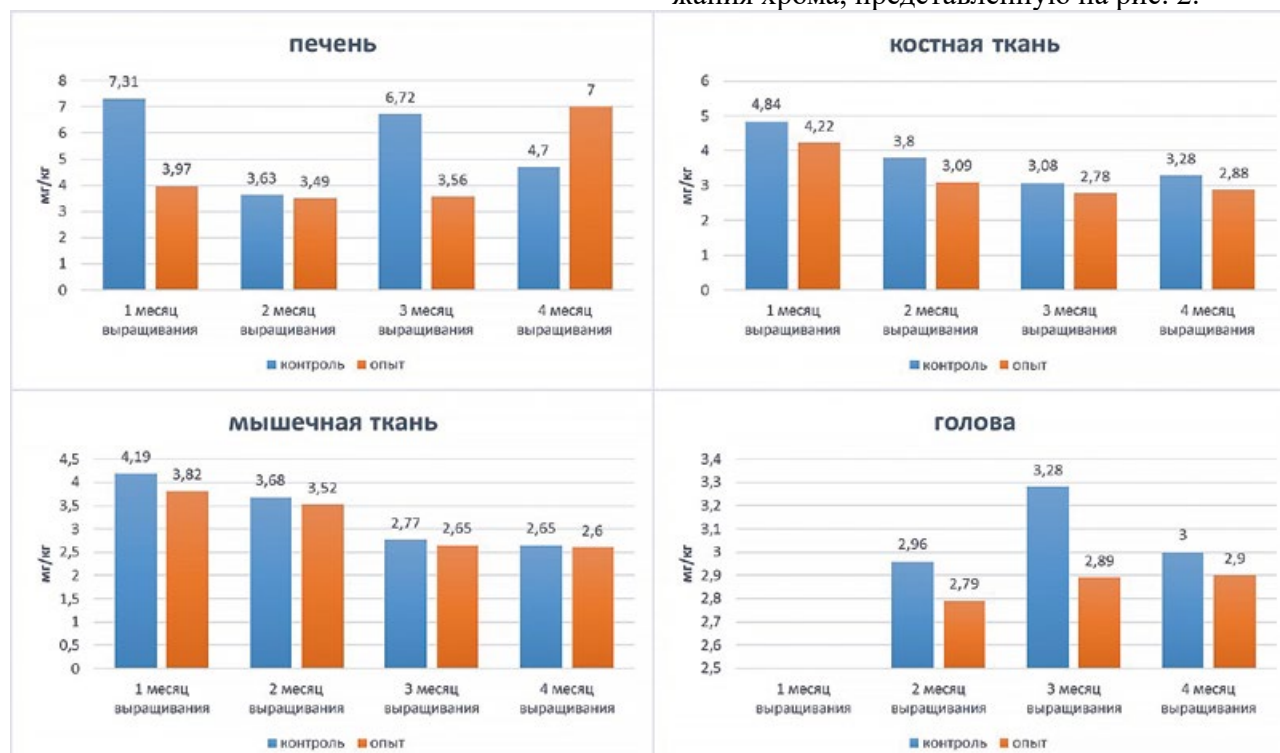


Рис. 2. Динамика изменения содержания хрома в тканях и органах рыб
Dynamics of changes in chromium content in fish tissues and organs

В костной и мышечной ткани наблюдалось одновременное снижение количества хрома по мере роста рыб обеих групп. Различия в содержании этого микроэлемента проявлялись в печени и тканях головы. Так, в контрольной группе было зарегистрировано максимальное содержание хрома на первом месяце выращивания (7,31 мг/кг) с последующим снижением на втором месяце до 3,63 мг/кг (50,3 %). Однако на третьем месяце наблюдений количество хрома вновь увеличилось до 6,72 мг/кг, а далее снизилось до 4,7 мг/кг (30,6 %). В опытной группе наблюдалось постепенное накопление хрома в тканях печени (от 3,97 до 4,7 мг/кг), а в тканях головы отмечалось такое же неравномерное содержание хрома в течение периода исследований у контрольных экземпляров и постепенное увеличение в опытной группе (с 2,79 до 2,9 мг/кг, что соответствует увеличению на 3,6 %).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В рамках настоящего исследования было оценено влияние кормовой белковой добавки ДРИМФИД® на физиологическое состояние организма. Учитывая, что в процессе производства ДРИМФИД® используется минеральная среда, обогащенная солями различных микроэлементов (включая медь, концентрация которой может варьироваться в пределах 200–300 мг/кг), и принимая во внимание более низкую концентрацию меди в традиционных кормах, а также ее способность к кумуляции в тканях [19], возникла необходимость в комплексной оценке воздействия данной добавки на организм. Состав и питательная ценность разработанных комбикормов представлены в таблице, а содержание микроэлементов – на рис. 3. Важно отметить, что опытный комбикорм, содержащий ДРИМФИД®, отличался повышенным содержанием белка (64,3 %), меди (299 мг/кг) и калия (7290 мг/кг), а также пониженным содержанием жира (8,9 %) по сравнению с контрольным рационом.

Состав опытного и контрольного комбикормов
Composition of experimental and control compound feeds

Комбикорм	Влага, %	Зола, %	Сырой протеин, % (по Кьельдалю)	Белок, % (Барнштейн)	Сырой жир (липиды), %
Контроль (марки ООО «БИФФ»)	4,63	9,82	44,7	39,10	13,1
Опыт (с добавкой ДРИМФИД®)	4,41	5,84	68,9	64,3	8,9

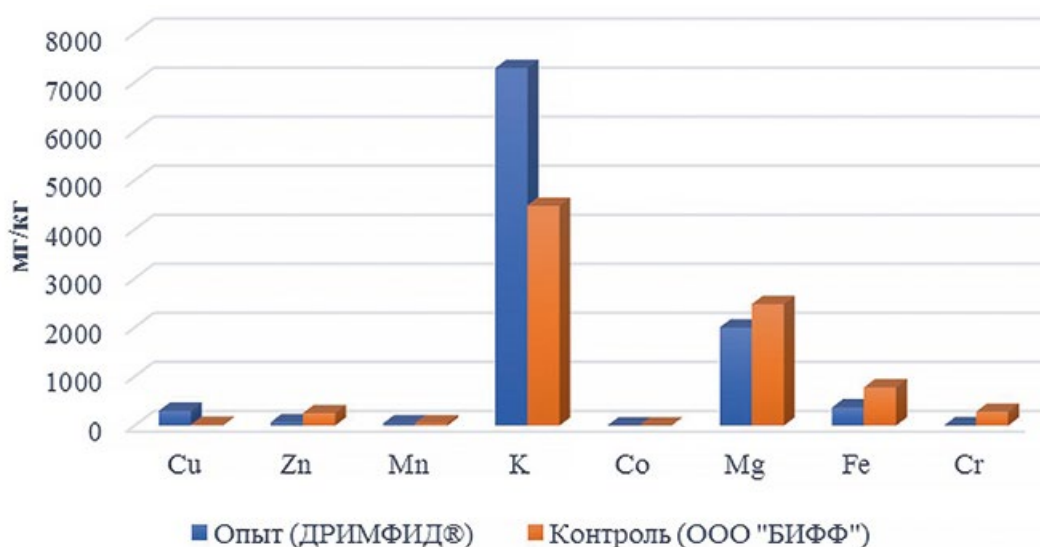


Рис. 3. Содержание микроэлементов в комбикормах
Microelement content in compound feed

Для оценки влияния ДРИМФИД® на метаболические процессы был проведен анализ динамики альбумина, доминирующего белка плазмы крови рыб, выполняющего ряд критически важных функций, включая поддержание онкотического давления, транспорт веществ, детоксикацию организма и являющегося источником эндогенных аминокислот. Предполагается, что наблюдаемая динамика изменения концентрации альбумина может быть связана с постепенным снижением температуры воды, что необходимо учитывать при интерпретации результатов.

Параллельно с оценкой белкового обмена проводился анализ показателей липидного обмена, в частности, концентрации холестерина и β -липопротеидов, являющихся основными транспортными формами холестерина. Дисрегуляция липидного обмена, проявляющаяся в изменении концентрации данных показателей, может свидетельствовать о хроническом стрессовом воздействии или развитии жировой перегрузки организма, что также было принято во внимание.

В дополнение к анализу белкового и липидного обмена концентрация глюкозы в сыворотке крови рассматривалась как индикатор стрессовых реакций. Известно, что гипергликемия, индуцированная рыбоводными процессами, колебаниями температуры или транспортировкой, является распространённым признаком стресса. С другой стороны, снижение концентрации глюкозы может свидетельствовать об оптимизации метаболических процессов.

Важным компонентом оценки физиологического состояния рыб являлся анализ лейкоцитарной формулы крови, служащей ценным индикатором не только общего состояния организма, но и активности клеточного иммунитета. Изменения в лейкограмме, сигнализирующие о нарушениях метаболических процессов и ухудшении состояния организма, могут возникать задолго до манифестации клинических признаков патологий. Характерный для рыб лимфоцитарный профиль, где доминирующую роль играют лимфоциты (70–90 % от общего количества лейкоцитов), был принят во внимание при анализе данных. Появление более молодых клеток нейтрофильного ряда в периферической крови, что обычно ассоциируется с патологическими состояниями и стимуляцией гемопоэза, а также увеличение количества моноцитов, наблюдаемое в контрольной группе, могут свидетельствовать о развитии воспалительных процессов в организме. Данные изменения в лейкоцитарной формуле указывают

на необходимость дальнейшего изучения возможных причин активации иммунной системы у рыб контрольной группы.

В контексте оценки общего физиологического состояния, наряду с анализом гематологических показателей, в рамках исследования был проведен анализ содержания макро- и микроэлементов в органах и тканях рыб исследуемых групп. Полученные результаты демонстрируют общую тенденцию по увеличению или уменьшению содержания меди как в опытной, так и в контрольной группах, что требует более детального рассмотрения механизмов регуляции метаболизма меди в организме рыб при использовании кормовой добавки ДРИМФИД®. Содержание меди в мышцах рыб соответствует допустимым значениям для пищевых продуктов – ниже 10 мг/кг, что согласуется с данными И.Н. Остроумовой [19]. Поскольку печень является основным депо для меди, высокое содержание было характерно для обеих экспериментальных групп. Важно отметить, что несмотря на это данные о приросте и физиологическом состоянии рыб не демонстрировали негативного эффекта. Выживаемость рыб была 100%-й, показатели роста и крови стабильными, что позволяет говорить об отсутствии токсического эффекта даже при повышенном содержании меди в рационе.

Тот факт, что содержание цинка в мышечной ткани снижается и при этом находится в пределах допустимых концентраций для пищевых продуктов (до 40 мг/кг) [19], можно рассматривать как положительную тенденцию, учитывая важную роль цинка во многих метаболических процессах. В частности, цинк участвует в метаболизме простагландинов, нуклеиновых кислот, белков, жиров и углеводов, а также оказывает влияние на рост, развитие, размножение, образование костей, кроветворение и зрение рыб.

В свою очередь, марганец, также являясь эссенциальным микроэлементом, входит в состав многих ферментных систем и активизирует обмен белков, жиров и углеводов, а также влияет на фосфорно-кальциевый обмен. От присутствия марганца зависит рост, образование костей, кроветворение и размножение рыб [20]. При этом основным депо марганца является скелет, где он присутствует в виде неорганических соединений. Интересно, что при практически одинаковом изначальном содержании марганца в комбикорме ООО «БИФФ» (44,4 мг/кг Mn) и в корме с белковой добавкой ДРИМФИД® (42,5 мг/кг Mn) наблюдаемые различия в динамике содержания

марганца в костной и головной ткани представляются требующими дальнейшего изучения для выявления лежащих в основе этих различий механизмов.

В отличие от микроэлементов цинка и марганца калий относится к макроэлементам и содержится в большом количестве в компонентах как животного, так и растительного и микробного происхождения (от нескольких граммов до 10–20 г/кг компонента). Характеризуясь высокой усвояемостью из различных животных и растительных продуктов (приближающейся к 100 %), калий активно расходуется в тканях и органах, участвуя в водно-солевом обмене. Его усвоение оказалось значительно выше, чем всех других исследованных макро- и микроэлементов, что подчеркивает важную роль калия в поддержании гомеостаза.

Низкие или следовые значения кобальта, зарегистрированные в тканях рыб, согласуются с литературными данными о его незначительном содержании в большинстве кормов и тканях животных, что подтверждает гипотезу о низком поступлении этого элемента в организм исследуемых рыб.

Переходя к анализу содержания магния, необходимо отметить отсутствие достоверных различий между контрольной и опытной группами, несмотря на различия в составе используемых кормов. Этот факт позволяет предположить наличие эффективных механизмов регуляции гомеостаза магния в организме рыб, обеспечивающих поддержание его концентрации в тканях на относительно постоянном уровне, независимо от колебаний в поступлении с кормом.

Однако, несмотря на наличие гомеостатических механизмов, железо, являясь компонентом гемсодержащих ферментов и активно участвуя в окислительно-восстановительных процессах, демонстрировало значительные различия в накоплении в печени в зависимости от группы. Вероятно, более высокое содержание железа в печени контрольной группы связано с более высоким содержанием этого элемента в комбикорме ООО «БИФФ» (776 мг/кг) по сравнению с кормом с белковой добавкой ДРИМФИД® (366 мг/кг), что указывает на важную роль пищевого фактора в регуляции накопления железа в этом органе.

Наконец динамика изменения количества хрома в тканях рыб отражает сложное взаимодействие между поступлением этого элемента с кормом и процессами его метаболизма в организме. Различия в содержании хрома в опытном и

контрольном комбикормах (3,1 и 282 мг/кг соответственно), по-видимому, объясняют различия в накоплении хрома в печени и тканях головы между группами. При этом наблюдаемое неравномерное содержание хрома в тканях головы у контрольных экземпляров требует дальнейших исследований для выяснения механизмов регуляции гомеостаза хрома и оценки его влияния на физиологические процессы в организме рыб.

ВЫВОДЫ

В рамках проведенного исследования была осуществлена замена 94 % рыбной муки на белковую кормовую добавку ДРИМФИД®, представляющую собой концентрат микробного белка *Methylococcus capsulatus* с добавлением незаменимых серосодержащих аминокислот (метионин – 1,8 %, цистеин/цистин – 0,4 %) и минеральных компонентов (калий, магний, фосфор и др.), в рецептуре производственного комбикорма для сеголеток тилапии. Анализ результатов позволил сделать следующие выводы:

1. Опытный комбикорм, содержащий ДРИМФИД®, отличался от контрольного (производства ООО «БИФФ») более высоким содержанием белка (64,3 против 35%) и более низким содержанием жира (8,9 против 1 %). Микроэлементный состав также различался: в опытном корме было повышено содержание меди (299 мг/кг) и калия (7290 мг/кг), в то время как контрольный корм характеризовался более высоким содержанием цинка, марганца, железа и хрома.

2. Анализ физиолого-биохимических показателей крови выявил положительное влияние кормления кормом с ДРИМФИД® на состояние здоровья рыб. В частности, отмечалось следующее:

- в обеих экспериментальных группах был зарегистрирован пик содержания альбумина на втором месяце выращивания (35,4 г/л в опытной группе и 30,9 г/л в контрольной), что соответствовало превышению на 15,25 % по сравнению с контрольными значениями;

- в опытной группе стабильная концентрация глюкозы в пределах физиологических норм (4–5,7 ммоль/л);

- концентрация холестерина незначительно снижалась в обеих группах в течение эксперимента, оставаясь в пределах физиологических норм;

- концентрация β -липопротеидов в крови рыб опытной группы находилась в диапазоне 2,2–3,1 г/л. В контрольной группе наблюдалось

увеличение этого показателя с 0,85 до 2,3 г/л к концу эксперимента.

3. Анализ лейкограммы выявил признаки активации иммунной системы в контрольной группе (увеличение доли палочкоядерных нейтрофилов до 12,9 % и моноцитов до 8 %), что может указывать на наличие воспалительных процессов. В опытной группе данные показатели находились в пределах нормы.

4. Анализ содержания макро- и микроэлементов в тканях и органах рыб выявил различия, связанные с составом комбикормов. Так, в кост-

ной ткани и тканях головы содержание марганца было выше в контрольной группе. Дальнейшее изучение влияния содержания марганца в кормах на его накопление в тканях представляется перспективным.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-16-00020 «Разработка инновационных технологических подходов к использованию альтернативного источника белка (сухая биомасса микрорганизмов – бактерий метанотрофов) в условиях высокоинтенсивного промышленного аквакультурного хозяйства».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Регуляция антиоксидантной системы рыб биологически активными кормовыми добавками / Е.В. Спирина, Е.М. Романова, В.В. Романов, В.Н. Любомирова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 4 – С. 113–118. – DOI: 10.18286/1816-4501-2021-4-113-118.
2. Иммуномодулирующие свойства ряда биологически активных кормовых добавок / Т.М. Шленкина, Е.М. Романова, В.В. Романов, В.Н. Любомирова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 4. – С. 130–135. – DOI: 10.18286/1816-4501-2021-4-130-135.
3. Микряков Д.В., Тарлева А.Ф., Жандалгарова А.Д. Влияние пробиотического препарата «Экофлор» на активность гликозидаз в кишечнике стерляди // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 1 (74). – С. 186–193. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-74-1-186-193.
4. Влияние компонентов биологически активной добавки для функциональных комплексов кормления на показатели крови рыб / Л.А. Шадыева, Е.М. Романова, А.В. Васильев, Е.Е. Тураева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. — 2023. – № 3 – С. 194–199. – DOI: 10.18286/1816-4501-2023-3-194-199.
5. Особенности развития клариевого сома (*Clarias gariepinus*, Burchell, 1822) в раннем онтогенезе / Е.Н. Пономарева, У.С. Александрова, Т.С. Гридина, А.А. Кузов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. – 2020. – № 2. – С. 134–141. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-2-134-141.
6. Замена рыбной муки на белковые компоненты микробного, животного и растительного происхождения в кормах для двухлеток сиговых (*Coregonidae*) / И.Н. Остроумова, А.А. Лютиков, В.В. Костюничев [и др.] // Труды ВНИРО. – 2022. – Т. 190. – С. 105–115. – DOI: 10.36038/2307-3497-2022-190-105-115.
7. Лютиков А.А., Шумилина А.К., Вилка М.М. Опыт замены рыбной муки и рыбьего жира на растительные протеин и масло в стартовых кормах для сиговых рыб // Известия КГТУ. – 2021. – № 60. – С. 32–43. – DOI: 10.46845/1997-3071-2021-60-32-43.
8. Влияния белкового концентрата «АгроМатик» на продуктивные качества молоди радужной (*Oncorhynchus mykiss*) и янтарной (*Oncorhynchus mykiss walbaum*) форели / Д.А. Ранделин, А.И. Новокщенова, Ю.В. Кравченко [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса наука и высшее образование. – 2022. – № 3 (67). – С. 334–344. – DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-38.
9. Показатели роста и развития радужной форели при скармливании кормовой добавки «Бета-Флора» / Д.А. Ранделин, В.Н. Агапова, Ю.В. Кравченко, С.Ю. Агапов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса наука и высшее образование. – 2022. – № 2 (66). – С. 230–238. – DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-29.
10. Технологии выращивания и кормления объектов аквакультуры юга России / С.В. Пономарев, Е.А. Гамыгин, С.И. Никоноров [и др.]. – Астрахань, 2002. – 264 с.
11. Абрамов М.Г. Гематологический атлас. – М.: Медицина, 1985. – 344 с.
12. Атлас клеток крови и костного мозга / Под ред. проф. Г.И. Козинца. – М., 1998. – 160 с.
13. Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб: сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб. – М., 1983. – 80 с.
14. Филиппович Ю.Б., Егорова Т.А., Севастьянова Г.А. Практикум по общей биохимии. – М., 1975. – 318 с.
15. Trinder P. Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an alternative oxygen acceptor // Ann Clin Biochem. – 1969. – № 6. – P. 24–27.
16. Zollner N., Kirsch K. Colorimetric method for determination of total lipids // Ges. Exp. Med. – 1962. – № 135. – P. 545–561.

17. Ледвина М. Определение β -липопротеинов сыворотки крови турбидиметрическим методом // Лабораторное дело. – 1960. – № 3. – С. 13.
18. Лакин Г.Ф. Биометрия: учеб. пособие для биол. спец. вузов. – М., 1990. – 351 с.
19. Остроумова И.Н. Биологические основы кормления рыб. – СПб.: ГосНИОРХ, 2012. – 564 с.
20. Воробьев В.И. Микроэлементы и их применение в рыбоводстве. – М., 1979. – 183 с.

REFERENCES

1. Spirina E.V., Romanova E.M., Romanov V.V., Lyubomirova V.N., *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2021, No. 4, pp. 113–118, DOI: 10.18286/1816-4501-2021-4-113-118. (In Russ.)
2. Shlenkina T.M., Romanova E.M., Romanov V.V., Lyubomirova V.N., *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2021, No. 4, pp. 130–135, DOI: 10.18286/1816-4501-2021-4-130-135. (In Russ.)
3. Mikryakov D.V., Tarleva A.F., Zhandalgarova A.D., *Bulletin of the NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2025, No. 1 (74), pp. 186–193, DOI: 10.31677/2072-6724-2025-74-1-186-193. (In Russ.)
4. Shadyeva L.A., Romanova E.M., Vasiliev A.V., Turayeva E.E., *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2023, No. 3, pp. 194–199, DOI: 10.18286/1816-4501-2023-3-194-199. (In Russ.)
5. Ponomareva E.N., Alexandrova U.S., Gridina T.S., Kuzov A.A., *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries*, 2020, No. 2, pp. 134–141, DOI: 10.24143/2073-5529-2020-2-134-141. (In Russ.)
6. Ostroumova I.N., Lyutikov A.A., Kostyanichev V.V., Shumilina A.K., Vylka M.M., *PROCEEDINGS of VNIRO*, 2022, Vol. 190, pp. 105–115, DOI: 10.36038/2307-3497-2022-190-105-115. (In Russ.)
7. Lyutikov A.A., Shumilina A.K., Vylka M.M., *Scientific journal Izvestiya KSTU*, 2021, No. 60, pp. 32–43, DOI: 10.46845/1997-3071-2021-60-32-43. (In Russ.)
8. Randelin D.A., Novokshchenova A.I., Kravchenko Yu.V., Vorontsova E.S., Kuznetsova T.V., Ramazan A.K., *Izvestia NV AUK*, 2022, No. 3 (67), pp. 334–344, DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-38. (In Russ.)
9. Randelin D.A., Agapova V.N., Kravchenko Yu.V., Agapov S.Y., *Izvestia NV AUK*, 2022, No. 2(66), pp. 230–238, DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-29. (In Russ.)
10. Ponomarev S.V., Gamygin E.A., Nikonorov S.I., Ponomareva E.N., Grozescu Yu.N., Bakhareva A.A., *Tekhnologii vyrashchivaniya i kormleniya ob'ektov akvakul'tury yuga Rossii* (Technologies of cultivation and feeding of aquaculture facilities in the South of Russia), Astrakhan, 2002, 264 p.
11. Abramov M.G., *Gematologicheskij atlas* (Hematological atlas), Moscow: Medicine, 1985, 344 p.
12. *Atlas kletok krovi i kostnogo mozga* (Atlas of blood cells and bone marrow), Pod red. prof. G.I. Kozinca, Moscow: Triad-X, 1998, 160 p.
13. Ivanova N.T., *Atlas kletok krovi ryb: sravnitel'naya morfologiya i klassifikaciya formennykh elementov krovi ryb* (Atlas of fish blood cells: comparative morphology and classification of shaped elements of fish blood), Moscow, 1983, 184 p.
14. Filippovich Yu.B., Egorova T.A., Sevastyanova G.A., *Praktikum po obshchej biohimii* (Practicum on general biochemistry), Moscow, 1975, 318 p.
15. Trinder P., Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an alternative oxygen acceptor, *Ann Clin-Biochem*, 1969, No. 6, pp. 24–25.
16. Zollner N., Kirsch K.Z., Colorimetric method for determination of total lipid in serum, *Ges. Exp. Med*, 1962, No. 135, 545 p.
17. Ledvina M., *Laboratory case*, 1960, No. 3, p. 13. (In Russ.)
18. Lakin G.F., *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Higher School, 1990, 293 p.
19. Ostroumova I.N., *Biologicheskie osnovy kormleniya ryb* (Biological foundations of fish feeding), Sankt-Petersburg: GosNIORKh, 2012, 564 p.
20. Vorobyov V.I., *Mikroelementy i ih primenenie v rybovodstve* (Microelements and their application in fish farming), Moscow, 1979, 183 p.

Информация об авторах:

С.В. Пономарев, доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры «Аквакультуры и водные биоресурсы», заведующий научно-исследовательской лабораторией «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры»; Астраханский государственный технический университет

Ю.В. Федоровых, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; доцент кафедры «Аквакультуры и водные биоресурсы», научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры»; Астраханский государственный технический университет

А.Б. Ахмеджанова, кандидат биологических наук; доцент кафедры «Аквакультуры и водные биоресурсы», ведущий инженер научно-исследовательской лаборатории «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры»; Астраханский государственный технический университет

О.А. Левина, кандидат сельскохозяйственных наук; доцент кафедры «Аквакультуры и водные биоресурсы», младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры»; Астраханский государственный технический университет

П.А. Нюньков, генеральный директор ООО «Гипробьосинтез»

Н.В. Терганова, аспирант, направление обучения «Рыбное хозяйство»; ведущий инженер научно-исследовательской лаборатории «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры»; Астраханский государственный технический университет

Contribution of the authors:

S.V. Ponomarev, Doctor of Biological Sciences, Professor; Professor of the Department of Aquaculture and Aquatic Bioresources, Head of the Research Laboratory of Sturgeon Farming and Promising Aquaculture Objects; Astrakhan State Technical University

Yu. V. Fedorov, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor; Associate Professor of the Department of Aquaculture and Aquatic Bioresources, Researcher of the Research Laboratory of Sturgeon Farming and Promising Aquaculture Objects; Astrakhan State Technical University

A.B. Akhmedzhanova, Candidate of Biological Sciences; Associate Professor of the Department of Aquaculture and Aquatic Bioresources, Leading Engineer of the Research Laboratory of Sturgeon Farming and Promising Aquaculture Objects; Astrakhan State Technical University

O.A. Levina, Candidate of Agricultural Sciences; Associate Professor of the Department of Aquaculture and Aquatic Bioresources; Junior Researcher of the Research Laboratory of Sturgeon Farming and Promising Aquaculture Objects; Astrakhan State Technical University

P.A. Nyunkov, General Director of Giprobiosintez LLC

N.V. Terganova, postgraduate student, majoring in Fisheries; leading engineer, research laboratory, Sturgeon Farming and Prospective Aquaculture Objects; Astrakhan State Technical University

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ТРАНСКРИПТОМИКА В XXI ВЕКЕ: ОБЗОР ДОСТИЖЕНИЙ И ОГРАНИЧЕНИЙ

Ю.Р. Серазетдинова, Д.Е. Колпакова, А. Наик, И.И. Плешивцев, Л.К. Асякина, А.Ю. Просеков

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

E-mail: serazetdinova2000@mail.ru

Для цитирования: Транскриптомика в XXI веке: обзор достижений и ограничений / Ю.Р. Серазетдинова, Д.Е. Колпакова, А. Наик, И.И. Плешивцев, Л.К. Асякина, А.Ю. Просеков // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 247–261. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-247-261.

Ключевые слова: транскриптом, секвенирование, полимеразная цепная реакция, микрочипы, медицина, сельское хозяйство, рекультивация.

Реферат. Транскриптом, являясь полной совокупностью молекул РНК, транскрибируемых геномом клетки или организма в конкретный момент времени, представляет собой динамический и информативный объект исследований в современной биологии. Его изменчивость и способность отражать реакцию на внутренние и внешние стимулы делают транскриптомный анализ незаменимым инструментом для понимания фундаментальных биологических процессов, разработки диагностических подходов, а также применения в таких областях, как сельское хозяйство, экология и биотехнология. Изучение транскриптома позволяет выявить дифференциальную экспрессию генов в ответ на разнообразные факторы, расшифровать молекулярные механизмы патогенеза заболеваний, идентифицировать потенциальные мишени для терапевтического вмешательства и оптимизировать биотехнологические процессы. В данной работе представлен анализ эволюции транскриптомных технологий в XXI в, охватывающий спектр методических подходов от традиционных методов анализа экспрессии генов, таких как обратная транскрипция с последующей полимеразной цепной реакцией (ОТ-ПЦР) и микрочипы, до современных методов высокопроизводительного секвенирования нового поколения (RNA-seq). Проводится сравнительная оценка преимуществ и недостатков каждого метода, с акцентом на специфику их применения в различных областях, включая медицинскую диагностику, сельское хозяйство, экологические исследования и пищевую промышленность. Особое внимание уделяется обсуждению возможностей и ограничений каждой технологии в контексте решения конкретных задач, таких как идентификация биомаркеров заболеваний, изучение адаптации организмов к изменяющимся условиям окружающей среды и оптимизация биотехнологических процессов.

TRANSCRIPTOMICS IN THE 21ST CENTURY: A REVIEW OF ACHIEVEMENTS AND LIMITATIONS

Yu.R. Serazetdinova, D.E. Kolpakova, A. Naik, I.I. Pleshivtsev, L.K. Asyakina, A.Yu. Prosekov

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

E-mail: serazetdinova2000@mail.ru

Keywords: transcriptome, sequencing, polymerase chain reaction, microarrays, medicine, agriculture, reclamation.

Abstract. A transcriptome, being a complete set of RNA molecules transcribed by the genome of a cell or organism at a specific time, is a dynamic and informative object of research in modern biology. Its variability and ability to reflect responses to internal and external stimuli make transcriptome analysis an indispensable tool for understanding fundamental biological processes, developing diagnostic approaches, and applying it to fields such as agriculture, ecology, and biotechnology. Studying the transcriptome makes it possible to identify the differential expression of genes in response to various factors, decipher the molecular mechanisms of disease pathogenesis, identify potential targets for therapeutic intervention, and optimize biotechnological processes. This study presents an analysis of the evolution of transcriptome technologies in the 21st century, covering a range of methodological approaches from traditional gene expression analysis methods, such as reverse transcription followed by polymerase chain reaction (RT-PCR) and microarrays, to modern high-throughput next-generation sequencing (RNA-seq) methods. A comparative assessment of the advantages and disadvantages of each method is provided, with a focus on their specific applications in various fields, including medical diagnostics, agriculture, environmental research, and the food industry. Special attention is paid to discussing the capabilities and limitations of each technology in the context of solving specific problems, such as identifying disease biomarkers, studying the adaptation of organisms to changing environmental conditions, and optimizing biotechnological processes.

Транскриптом определяется как полный набор транскриптов РНК, экспрессируемых в клетке, ткани или организме в данный момент времени. Он включает в себя все виды РНК, как кодирующие белок (мРНК), так и некодирующие РНК (нкРНК), такие как рибосомальная РНК (рРНК), транспортная РНК (тРНК), малые ядерные РНК (мяРНК), малые ядрышковые РНК (мякРНК), микроРНК, длинные некодирующие РНК (днRNA) и др. В отличие от генома, который характеризуется относительной статичностью (за исключением соматических мутаций и эпигенетических модификаций), транскриптом высоко динамичен и подвержен значительным колебаниям в зависимости от стадии развития, типа клеток, тканей, физиологического состояния организма и воздействия факторов окружающей среды. Эта динамическая природа транскриптома отражает пластичность генной экспрессии и подчеркивает его ключевую роль в адаптации организма к изменяющимся условиям. Изучение транскриптома предоставляет ценную информацию о молекулярных процессах, лежащих в основе развития, дифференцировки клеток, патогенеза заболеваний и реакции организма на внешние воздействия [1]. Фактически цель транскриптомики – идентифицировать гены, дифференциально экспрессирующиеся в разных условиях, что позволяет по-новому взглянуть на геном [2]. В связи с этим быстрое развитие технологии пространственной транскриптомики способствовало биологическим открытиям в различных областях [3].

Одни из самых ранних попыток профилирования транскриптов проведены в 1980-х гг. с помощью меток экспрессируемых последовательностей (EST), которые представляют собой короткие нуклеотидные последовательности, полученные из кДНК [4]. В 1990-х гг. было разработано два альтернативных подхода: серийный анализ экспрессии генов (SAGE) и технология микрочипов [5]. В основе SAGE лежит секвенирование по Сэнгеру конкатенированных случайных фрагментов транскриптов [6]. В данном методе транскрипты оценивали количественно за счет сравнения фрагментов с известными генами. Также сравнительно недолго использовался вариант SAGE с использованием методов высокопроизводительного секвенирования, называемый анализом цифровой экспрессии генов. За прошедшие годы были разработаны варианты SAGE для более точной идентификации

тегов за счет увеличения длины тега до 26 [7]. Параллельно развивался метод массового параллельного сигнатурного секвенирования (MPSS) с длиной прочтения 16–20 п.н. [8]. Технология ДНК-микрочипов, основанная на гибридизации меченых молекул кДНК с иммобилизованными зондами, получила широкое распространение в 2000-х гг. благодаря высокой производительности и низкой стоимости [9].

В дальнейшем данные методы были в значительной степени вытеснены высокопроизводительным секвенированием целых транскриптов, которое давало дополнительную информацию о структуре транскриптов, например, сплайсинговых вариантах [10].

Цель исследования – проанализировать эволюцию и современное состояние транскриптомики в XXI в., а также рассмотреть существующие ограничения и перспективы развития данной области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поиск осуществляли в таких базах данных, как Scopus, MDPI, ScienceDirect, Scholar.google, PubMed и др. Библиографические данные публикаций экспортировали с помощью программного обеспечения Zotero в формате .ris. Для извлечения и визуализации ключевых слов использовали VOSviewer.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поиск в научных базах данных по заданным ключевым словам выявил 161 релевантную публикацию. После удаления дубликатов 129 документов проанализировали на предмет соответствия теме исследования на основе названия и аннотации. В результате этого этапа исключено 48 нерелевантных источника, 50 публикаций отобрано для обзора.

Из обработанных публикаций извлечено 752 ключевых слова. Для построения визуальной карты взаимосвязи отобрано 46 ключевых слов, которые встречались не менее чем два раза (рис. 1–2). Чем чаще упоминается слово, тем больше размер обозначающей его точки. Связи между ключевыми словами в исследованиях обозначаются цветом и линиями.

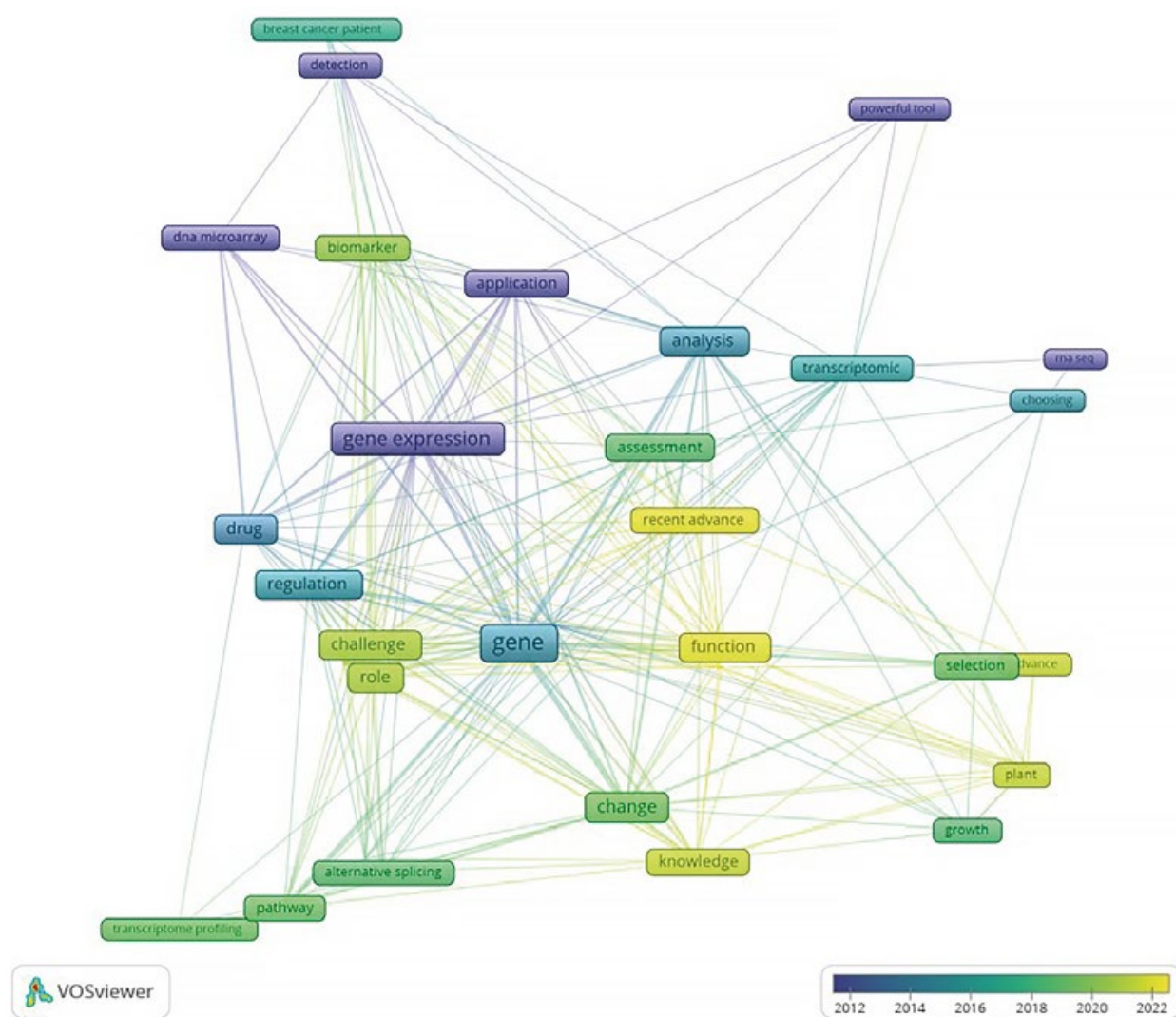


Рис. 1. Частота встречаемости ключевых слов по годам
Keyword frequency by year

Анализ ключевых слов позволил выявить основные направления и тенденции развития исследований в области геномики и анализа экспрессии генов. Центральное положение на карте занимают термины *gene*, *gene expression*, *function*, *biomarker* и *regulation*, что отражает фундаментальную роль изучения структуры и функции генов в современных биологических науках.

На ранних этапах (2012–2016 гг.) доминируют ключевые слова, связанные с методологическими аспектами: *DNA microarray*, *detection*, *application*, *biomarker*. Это указывает на акцент исследований на разработке и применении технологий для анализа экспрессии генов, особенно в медицинской диагностике и определении биомаркеров заболеваний, включая рак.

В период 2016–2019 гг. наблюдается смещение интереса к функциональным и регуляторным аспектам: *regulation*, *pathway*, *alternative splicing*, *transcriptome profiling*. Исследователи сосредотачиваются на механизмах регуляции генов, путях передачи сигналов и анализе транскриптомов, что свидетельствует о развитии системного подхода в молекулярной биологии.

Наиболее современные исследования (2019–2022 гг.) характеризуются появлением тем, связанных с прикладными и эволюционными направлениями: *function*, *selection*, *plant*, *growth*, *change*, *knowledge*. Это отражает расширение применения геномных данных за пределы медицины – в сельском хозяйстве, биотехнологии и экологии.

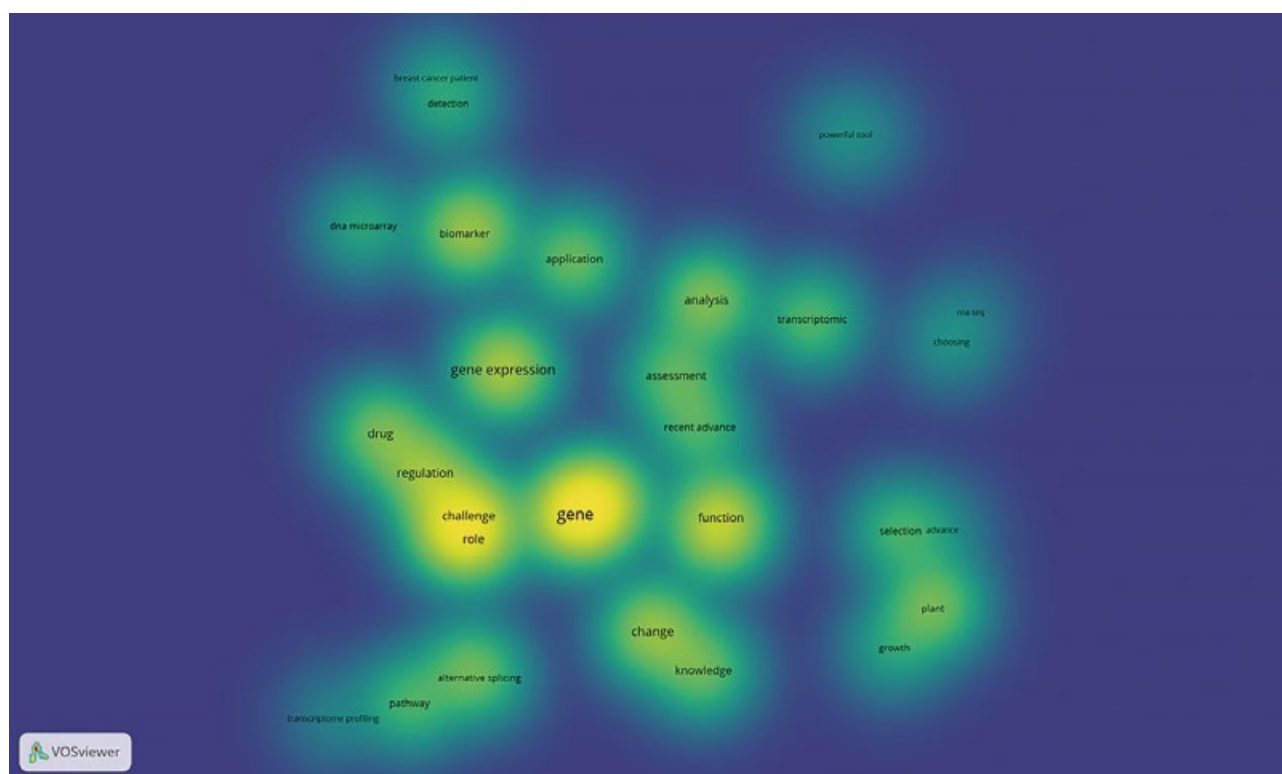


Рис. 2. Тепловая карта частоты встречаемости ключевых слов
Keyword Frequency Heatmap

Таким образом, эволюция научных интересов демонстрирует переход от технологических и инструментальных аспектов к функциональной интерпретации и практическому использованию данных о генах. Современные исследования направлены на интеграцию знаний о регуляции и экспрессии генов в контексте адаптации, развития и прикладных биологических систем, что открывает новые перспективы для агробιοтехнологии, экологической генетики и персонализированной медицины.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Методы транскриптомики

В настоящий момент применяют три метода работы с транскриптомом: ОТ-ПЦР в реальном времени, микрочипы и секвенирование РНК нового поколения (РНК-seq). Каждая из этих альтернатив обладает как рядом преимуществ, так и недостатков. Сравнительный анализ транскриптомных технологий и ОТ-ПЦР в реальном времени представлен на рис. 3 [2].

1.1. ОТ-ПЦР в реальном времени

Метод ПЦР с обратной транскрипцией в реальном времени (ОТ-ПЦР) основан на детекции флуоресцентного сигнала в процессе амплифика-

ции. Метод широко используется для обнаружения экспрессируемых генов, исследования вариантов транскриптов и создания шаблонов кДНК для клонирования и секвенирования. Одним из первых применений ОТ-ПЦР в молекулярной биологии стало создание библиотек кДНК, используемых для характеристики новых РНК-транскриптов, секвенирования генов и, после клонирования, для экспрессии рекомбинантных белков.

ОТ-ПЦР может быть выполнена в один или два этапа с использованием олиго (dT), случайных праймеров или ген-специфичных праймеров и подходит для количественного анализа численности генов (т.е. ОТ-кПЦР). кПЦР использует флуоресценцию в реальном времени для измерения количества ДНК, присутствующей в каждом цикле во время ПЦР, и может быть модифицирована для обнаружения и количественного определения РНК путем добавления этапа обратной транскриптазы перед анализом кПЦР. Петлевая изотермическая амплификация с обратной транскрипцией – это метод, аналогичный ОТ-ПЦР, но он выполняется при постоянной температуре от 60 до 65 °C с использованием набора ген-специфичных праймеров и ДНК-полимеразы, с сильной активностью смещения нитей [11].



Рис. 3. Сравнительная характеристика методов анализа транскриптома
Comparative characteristics of transcriptome analysis methods

Одним из основных недостатков ОТ-ПЦР в реальном времени является ограниченное количество анализов, которые можно проводить одновременно для каждого образца по оперативным причинам. Стандартное оборудование для ОТ-ПЦР в реальном времени использует до 384 луночных планшетов [12]. В связи с этим долгое время ОТ-ПЦР не признавался одним из методов транскриптомики. В конце первого десятилетия XXI в. была осуществлена революция в оборудовании для ПЦР с выходом на рынок высокопроизводительных платформ для ПЦР в реальном времени. Эти платформы имеют две основные характеристики: объем каждой реакции измеряется в нл, что экономит ценные образцы и реагенты, а также позволяет одновременно анализировать широкий спектр образцов и анализов. Например, OpenArray® позволяет проводить 224 различных анализа для двенадцати образцов одновременно, Dynamic array ICF позволяет проводить 96 анализов для 96 образцов, а SmartChip позволяет проводить 1243 анализа в четырех экземплярах для одного образца [13]. Хотя количество анализов на образец далеко от тысяч генов, которые можно оценить с помощью микрочипов и общего транскриптома секвенирования РНК, платформы высокопроизво-

дительной ОТ-ПЦР значительно расширяют возможности ОТ-ПЦР в транскриптомике.

1.2. Секвенирование нового поколения с помощью секвенирования РНК

Секвенирование нового поколения с помощью секвенирования РНК (РНК-seq) – мощный инструмент для обнаружения, профилирования и количественной оценки транскриптов РНК по всему транскриптому. Этот подход отличается от микрочипа тем, что с помощью секвенирования РНК можно секвенировать все транскрипты РНК в образце независимо от того наблюдались ли они ранее. Поскольку точная последовательность обнаружена, близкородственные транскрипты можно отличить друг от друга, включая варианты сплайсинга. Существуют разные методы выполнения РНК-seq. Во всех случаях секвенирование РНК включает выделение и очистку клеточной РНК. Очищенный образец РНК затем обычно преобразуется в комплементарную ДНК с использованием обратной транскриптазы с последующим лигированием адаптера секвенирования [14]. Обобщенная схема представлена на рис. 4.

Секвенирование РНК отдельных клеток (scРНК-seq) разработано для характеристики транскриптома редких, но имеющих биологическое значение клеток. Благодаря технологиям

клеточного штрихкодирования и микрочипа набор высокопроизводительных протоколов scRNA-seq позволяет выполнять профилирование транскриптома в тысячах отдельных клеток с разре-

шением одной клетки для классификации типов клеток, обнаружения новых клеточных популяций, исследования клеточной гетерогенности и выяснения траекторий происхождения [15].



Рис. 4. Виды секвенирования РНК
Types of RNA sequencing

Для получения количественных данных можно использовать несколько платформ секвенирования следующего поколения. Платформы, которые сегодня широко используются, включают Illumina, Ion Proton и PacBio. РНК-seq позволяет секвенировать кодирующую и нкРНК, выявлять варианты сплайсинга, идентифицировать новые транслокации и не требует использования зондов [16].

Благодаря последним достижениям секвенирование РНК можно выполнять на самых разных образцах, в том числе на образцах низкого качества, таких как формалин, фиксированный материал, залитый парафином (FFPE). Технология РНК-seq обладает следующими преимуществами:

1. Высокое разрешение. РНК-seq может точно различать отдельные основания, поэтому можно эффективно избежать таких проблем, как фоновый шум и перекрестная реакция, вызванная аналоговым сигналом флуоресценции.

2. Высокая пропускная способность. С помощью технологии секвенирования транскриптома можно получить сотни миллионов последовательностей оснований, которые могут, по существу, охватить весь транскриптом.

3. Высокая чувствительность. Редкие транскрипты, количество которых составляет всего несколько копий в клетках-мишенях, можно обнаружить с помощью этого метода секвенирования РНК.

4. Удобство в использовании. Эту технологию можно использовать для анализа всего транскриптома различных видов, и она не требует эталонного генома или разработки специальных зондов перед секвенированием. Вместо этого РНК-seq может напрямую анализировать весь транскриптом.

К недостаткам секвенирования РНК относятся различные экспериментальные стандарты и более высокая стоимость. Большой объем данных значительно усложняет хранение и биоинформатический анализ, но его более высокая чувствительность (настраиваемая за счет глубины секвенирования) и специфичность (благодаря одноосновному разрешению) позволяют собирать значительно больше информации.

1.3. Микрочипы

Технология микрочипов, получившая широкое распространение после своего появления в середине 1990-х гг., стала преобладающим методом транскриптомного профилирования [17]. Микрочип представляет собой набор иммобилизованных ДНК-зондов (олигонуклеотидов), комплементарных известным последовательностям. Стандартный протокол эксперимента включает выделение мРНК из биологического образца, флуоресцентное мечение РНК или кДНК [18], гибридизацию меченых молекул с зондами на микрочипе (до миллионов зондов), отмывку несвязавшихся молекул, сканирование микрочипа лазерным сканером и последующий анализ

данных с использованием специализированного программного обеспечения [19]. В зависимости от целевой анализируемой молекулы различают SNP-чипы, чипы для определения числа копий генов, чипы для анализа экспрессии РНК и чипы для детекции метилирования ДНК [20]. Платформа микрочипов для анализа экспрессии генов обладает следующими характеристиками:

1) квантификация экспрессии генов с помощью микрочипов возможна только при наличии референсной последовательности;

2) микрочипы позволяют получать большие объемы данных за короткий промежуток времени;

3) верификация дифференциальной экспрессии генов, выявленной с помощью микрочипов, методом количественной ПЦР (кПЦР) демонстрирует высокую степень точности метода;

4) микрочипы позволяют детектировать различные типы РНК, включая мРНК, днРНК и циркРНК [21].

Развитие технологии микрочипов привело к значительному расширению возможностей транскриптомного анализа. Для обработки больших объемов данных, генерируемых микрочипами, разработаны специализированные биоинформатические инструменты. Эти алгоритмы выполняют контроль качества гибридизации, коррекцию шума, нормализацию данных, усреднение, фильтрацию, межвыборочное сравнение и статистическую оценку. Массивы высокой плотности, которые охватывают большую часть транскриптома организма, наиболее подходят для оценки профилей экспрессии, связанных с заболеванием

(например, рак), или для выявления новых транскрипционных биомаркеров, включая те, которые коррелируют со воздействием лекарств или токсичных химических веществ [22]. В свою очередь, микрочипы низкой плотности, фокусирующиеся на ограниченном наборе РНК-мишеней, представляют собой более экономичный подход для изучения экспрессии генов в рамках известных молекулярных путей [23].

Лимитирующим фактором технологии ДНК-микрочипов является невозможность детекции РНК-мишеней, для которых отсутствуют комплементарные олигонуклеотидные зонды на чипе. Кроме того, ограниченный динамический диапазон микрочипов затрудняет количественное сравнение изменений экспрессии, которые могут варьировать на несколько порядков [24].

2. Биоинформатические аспекты анализа полученных данных

Развитие высокопроизводительных технологий анализа транскриптома привело к появлению ряда биоинформатических задач, связанных с хранением, обработкой и анализом больших объемов данных. Для решения этих задач разработано множество биоинформатических конвейеров. В настоящее время широко распространенным методом в биологии и медицине является анализ дифференциальной экспрессии генов (ДЭГ), основанный на сравнении средних уровней экспрессии отдельных генов между двумя или более группами образцов [25]. Программное обеспечение для проведения данного анализа представлено на рис. 5.



Рис. 5. Программное обеспечение для дифференциальной экспрессии генов РНК-seq
RNA-seq software for differential gene expression

Методы транскриптомного анализа требуют значительных вычислений для получения значимых данных как для экспериментов с микрочипами (применение технологий микрочипов), так и при использовании РНК-seq. Данные с микрочипов представляют собой изображения высокого разрешения (~750 МБ в сыром формате, ~60 МБ после обработки интенсивности), требующие методов распознавания образов и спектрального анализа, генерируют более 10^9 коротких прочтений ДНК, подлежащих картированию на референсный геном [26]. Наборы данных РНК-Seq, доступные через Gene Expression Omnibus (GEO), требуют ~1,8 ГБ дискового пространства на образец в сжатом формате FASTQ. Обработанные данные подсчета для каждого гена будут намного меньше, что эквивалентно интенсивностям обработанных микрочипов. Данные о последовательностях могут храниться в общедоступных репозиториях, таких как [27], но современные алгоритмы означают, что потребительского вычислительного оборудования достаточно для простых экспериментов по транскриптомике, которые не требуют *de novo* сборки ридов.

3. Сферы применения транскриптомного анализа

Транскриптомный анализ обладает значительным потенциалом для применения в различных научных и прикладных областях, включая сельское хозяйство, экологию и биотехнологию. Использование транскриптомных данных позволяет совершенствовать методы селекции растений, оптимизировать процессы биологического производства и углублять понимание механизмов взаимодействия организмов с окружающей средой. Транскриптомика играет ключевую роль в исследовании сложных биологических процессов и разработке инновационных подходов в медицине, сельском хозяйстве, биотехнологии и смежных дисциплинах.

3.1. Транскриптомика в медицине

Транскриптомный анализ предоставляет исследователям возможность всестороннего изучения генетических механизмов, регулирующих функции клеток и тканей, что может способствовать разработке новых диагностических, терапевтических методов и производству биологически активных веществ. Применение транскриптомики в медицине направлено на идентификацию новых диагностических маркеров и разработку лекарственных препаратов. Анализ транскриптомных данных позволяет выявить гены, ассоциированные с конкретными заболеваниями или реакцией на лекарственные препараты, что создает основу для разработки таргетных терапевтических стратегий. Напри-

мер, технология ОТ-ПЦР широко используется в онкологии для диагностики и мониторинга лечения [28], включая исследования прогностических биомаркеров опухолей, таких как рак молочной железы, меланома и гепатоцеллюлярная карцинома [29]. В данном методе кДНК, синтезированная на матрице РНК путем обратной транскрипции, амплифицируется с помощью ПЦР с использованием специфических праймеров. Количественная ПЦР с использованием флуоресцентно-меченых праймеров, олигонуклеотидов или продуктов амплификации позволяет отслеживать накопление целевых последовательностей в режиме реального времени, что способствует выявлению циркулирующих опухолевых клеток [30].

Анализ экспрессии генов с помощью микрочипов позволяет идентифицировать желательные и нежелательные эффекты лекарственных препаратов. Скрининг лекарственных средств на клеточном или тканевом уровне существенно снижает потребность в экспериментах на животных и связанные с этим затраты. Dooley и соавт. [31] продемонстрировали применение ДНК-микрочипов DermArray® и PharmArray для анализа экспрессии генов в образцах тканей пациентов с воспалительными заболеваниями кишечника (ВЗК) и оценки влияния терапии на экспрессию генов в клетках CaCO_2 . Авторы валидировали сверхэкспрессию семи генов (TMPT, FABP1, IFI27, LCN2, COL11A2, HXB и металлотионеин) с помощью ОТ-ПЦР, предположив их потенциальную роль в качестве молекулярных мишеней для лечения ВЗК. Высокопроизводительная и масштабируемая технология микрочипов для анализа экспрессии генов широко применяется в фармакологическом скрининге, включая оценку подлинности состава лекарственных препаратов, поиск активных компонентов и исследование механизмов их действия. Кроме того, анализ экспрессии генов с помощью микрочипов на клеточных линиях позволяет сократить время скрининга, идентифицировать лекарственные мишени и оценить токсичность и побочные эффекты препаратов [32].

3.2. Транскриптомика в сельском хозяйстве

Микрочипы широко применяются для изучения молекулярных механизмов, лежащих в основе развития растений и их ответа на абиотический стресс. Сравнительный анализ транскриптомных данных позволяет понять, как растения регулируют баланс между ростом и выживанием в условиях стресса, таких как засуха, экстремальные температуры, засоление, токсичность ионов металлов и др. Абиотический стресс индуцирует в растениях каскад физиологических, биохимических, молекулярных и клеточных изменений,

включая модификацию транскриптома и активацию механизмов стрессоустойчивости [33]. Анализ дифференциальной экспрессии генов в тканях и органах растений при различной интенсивности стресса позволяет выявить ключевые функциональные гены, ассоциированные с устойчивостью к этим факторам. Например, Park и соавт. [34] описали индукцию и репрессию генов, участвующих во вторичном метаболизме, синтезе нуклеиновых кислот и белков, а также транспорте веществ, у различных генотипов пшеницы в условиях засухи. У засухоустойчивого генотипа С306 наблюдалась значительная регуляция транскрипции генов, связанных с метаболизмом ферментов, гормонов и реакцией на стресс, включая MT, FT, AP2, SKP1, ABA2, ARF6, WRKY6, AOS и LOX2.

В последние 5–8 лет транскриптомный анализ нашел широкое применение в исследованиях плодовых растений для характеристики механизмов взаимодействия с патогенами и устойчивости к ним, изучения физиологических процессов, таких как созревание, цветение, послеуборочная физиология, а также формирование качественных признаков плодов (размер, цвет, вкус, твердость) и биосинтеза вторичных метаболитов [35]. Транскриптомные исследования плодовых растений, основанные на RNA-Seq, преимущественно фокусируются на изучении синтеза и сигнальных путей этилена, регуляции гормонов, модификации клеточной стенки, биосинтезе пигментов и метаболитов (каротиноиды, антоцианы, аскорбаты, цитраты) и метаболизме сахаров [39]. Например, Ge и соавт. [37] применили RNA-Seq для изучения метаболизма каротиноидов в мезокарпии и семенах авокадо, идентифицировав 17 унигенов, вовлеченных в биосинтез каротиноидов, с более высоким уровнем экспрессии в мезокарпии.

Транскриптомные исследования активно используются для понимания механизмов реакции растений на биотический стресс и разработки стратегий повышения устойчивости. Li и соавт. [37] показали, что подавление экспрессии гена GhMPK3 в хлопчатнике с помощью VIGS приводит к супрессии MPK-WRKY-JA и этиленового сигнальных путей и повышению восприимчивости к белокрылке. Транскрипционный ответ хлопчатника на заражение белокрылкой затрагивает гены, кодирующие протеинкиназы, факторы транскрипции, ферменты метаболизма и компоненты сигнальных путей фитогормонов.

Guo и соавт. [38] изучили генетические механизмы устойчивости тыквы к мучнистой росе с помощью транскриптомного анализа. Установлено, что устойчивость к данному патогену связана с гормональной регуляцией, активностью

факторов транскрипции и защитными реакциями. Анализ экспрессии 16 генов-кандидатов у растений тыквы, инфицированных мучнистой росой, выявил шесть генов с дифференциальной экспрессией, включая bHLH87, WRKY21, ERF014, HSFA, MLO3 и SGT1, демонстрирующих значительную активацию или супрессию у устойчивых сортов.

3.3. Транскриптомика и рекультивация

Транскриптомные методы применяются для идентификации микроорганизмов, участвующих в детоксикации токсичных соединений. Секвенирование РНК позволяет оценить экспрессию генов, потенциально связанных с биоремедиацией, предоставляя косвенную оценку микробной активности. Анализ РНК является более информативным, чем анализ ДНК, для оценки деградационного потенциала микробного сообщества по отношению к специфическим загрязнителям. Метатранскриптомика используется для выявления генов с повышенной экспрессией в условиях загрязнения и поиска новых генов, вовлеченных в биоремедиацию [40]. В течение последнего десятилетия методы секвенирования РНК, включая микрочипы и платформу Illumina, применялись для изучения изменений клеточных путей у микроводорослей, подвергнутых воздействию тяжелых металлов. Например, у *C. acidophila* в ответ на воздействие кадмия наблюдалась активация транскриптов, кодирующих митохондриальный белок-носитель (MTM1), белок семейства MATE и фитохелатинсинтазу (CaPCS2). Активация ретротранспозонов свидетельствует о потенциальной генетической эволюции посредством реорганизации генома или горизонтального переноса генов, как это было ранее описано у растений [41]. Высокая толерантность *C. eustigma* к мышьяку ассоциирована с экспрессией генов, кодирующих арсенитовую S-аденозилметионинметилтрансферазу (ArsM), мышьяковедуктазу (ArsC) и переносчик оттока арсенита (ACR3) [42]. Транскриптомные методы также используются для изучения детоксикации токсичных соединений растениями, например, было показано участие рибулозо-монофосфатного пути (RuMP) в этом процессе [43].

Основной задачей рекультивации хвостохранилищ нефтеносных песков является формирование бореальных лесных сообществ, интегрирующихся с окружающей средой. Выбор подходящих конструкций покровных материалов и видов растений для восстановления растительности является ключевым этапом данной процедуры. Транскриптомный анализ, проведенный Samad и соавторами [44], выявил универсальную и специфичную экспрессию генов в ответ на разные типы хвостохранилищ, включая гены, кодирующие

белки детоксикации, цитохром P450, глутатион-S-трансферазы, UDP-гликозилтрансферазы, ABC-транспортёры и стресс-чувствительные факторы транскрипции. При этом гены, связанные с фотосинтезом и функцией хлоропластов, подавлялись. Экспрессия сорока генов была консервативной для всех типов хвостохранилищ и покровных стратегий. Анализ количественной ПЦР подтвердил возможность использования части этих генов для различения стрессовых состояний растений. Данные позволяют рассматривать разработку биосенсоров на основе ограниченного набора генов для мониторинга стрессов, вызванных хвостохранилищами нефтеносных песков.

Методы транскриптомного анализа демонстрируют высокую информативность для оценки токсичности экологических загрязнителей. В исследовании Hara-Yamamura с соавторами [45] был проведен транскриптомный биоанализ с использованием клеток гепатомы человека HepG2 для оценки потенциальной токсичности сточных вод, очищенных с помощью двух мембранных биореакторов и традиционного процесса обработки активным илом. Анализ экспрессии маркерных генов методом количественной полимеразной цепной реакции показал снижение индукции генов CYP1A1 и GPX2 после обработки стоков посредством колонок с C18 и хелатных колонок. Совокупность транскриптомных данных и характеристик качества воды фракционированных образцов указывает на то, что компоненты, вызывающие негативные и аномальные транскриптомные реакции в клетках HepG2, обладают гидрофобной природой и способны взаимодействовать с комплексами растворённых в металлах органических веществ размером менее одного килодальтона. Несмотря на известную двойственную роль этих комплексов, как защитных агентов, так и индукторов токсичности, исследование Hara-Yamamura и др. [45] демонстрирует, что растворенные органические вещества сточных вод, в частности гуминовые кислоты кислой природы, действуют преимущественно как индукторы токсичности остаточных химических соединений.

3.4. Транскриптомика в пищевой промышленности

Транскриптомный и метатранскриптомный анализ широко применяются в пищевой промышленности для исследования микроорганизмов, участвующих в ферментации. Эти методы позволяют изучать активные биологические процессы и метаболические пути в динамике ферментации при заданных условиях. Например, метатранскриптомика использовалась для анализа метаболизма углеводов, белков и липидов при ферментации традиционного корейского соево-

го соуса. Транскриптомика также применяется для изучения регуляции биосинтеза вторичных метаболитов, таких как пигменты *Monascus*, используемые в качестве натуральных красителей [46]. Метатранскриптомика позволяет идентифицировать активные компоненты микробного сообщества и ключевые функциональные группы микроорганизмов, особенно в сложных ферментационных процессах [47].

Транскриптомные исследования играют важную роль в изучении пищевых патогенов, способствуя пониманию их взаимодействия с пищевой матрицей, и разработке целевых стратегий для предотвращения контаминации продуктов питания. Компоненты пищевой матрицы могут модулировать экспрессию генов и метаболические пути бактерий, влияя на их выживаемость, рост, образование биопленок и вирулентность [48]. Поэтому идентификация механизмов взаимодействия патогенов с пищевой матрицей имеет решающее значение для обеспечения безопасности пищевых продуктов.

4. Барьеры и ограничения развития транскриптомики

Несмотря на значительный прогресс в области транскриптомики, ряд технических и методологических задач требует дальнейшей разработки и оптимизации. Анализ больших объемов данных, генерируемых РНК-seq, представляет собой существенную проблему. Необходима разработка более эффективных алгоритмов для обработки и интерпретации данных, а также усовершенствование методов нормализации и стандартизации результатов [49]. Другим вызовом является обработка и хранение образцов РНК. Особое внимание следует уделять контролю качества образцов, минимизации потерь РНК во время экстракции и предотвращению ошибок секвенирования [50]. Важно подчеркнуть, что транскриптомика является лишь одним из инструментов в арсенале методов геномики и функциональной геномики. Для всестороннего понимания биологических систем требуется интеграция данных, полученных с помощью различных экспериментальных подходов, включая геномику, протеомику и метаболомику.

ВЫВОДЫ

1. За последние десятилетия транскриптомика претерпела существенную трансформацию, эволюционировав от ранних технологий, таких как экспрессированные последовательности тегов (Expressed Sequence Tags, EST) и серийный анализ экспрессии генов (Serial Analysis of Gene Expression, SAGE), к современным высокопроизводительным платформам секвенирования. Этот

прогресс обеспечил значительное расширение возможностей комплексного исследования геномной экспрессии на глобальном уровне.

2. В современной практике транскриптомного анализа применяются три основных подхода: количественная обратная транскрипция в реальном времени (ОТ-ПЦР), ДНК-микрочипы и секвенирование РНК нового поколения (РНК-seq). Каждый из этих методов обладает собственной совокупностью преимуществ и ограничений, а их выбор определяется конкретными целями исследования, доступными финансовыми и технологическими ресурсами, а также свойствами изучаемого биологического материала.

3. Транскриптомный анализ нашел широкое применение в различных областях: в медицине (для диагностики заболеваний и разработки лекарств), сельском хозяйстве (для изучения ответа растений на стресс и повышения их устойчивости), экологии (для биоремедиации загрязненных территорий) и пищевой промышленности (для

оптимизации ферментационных процессов и обеспечения безопасности продуктов).

4. Несмотря на значительный прогресс, перед транскриптомикой стоят ключевые методологические и аналитические вызовы, включая необходимость стандартизации протоколов, повышения чувствительности и специфичности детекции транскриптов, совершенствования алгоритмов обработки и интерпретации больших объемов данных, а также интеграции транскриптомных результатов с другими «омиксными» технологиями. В совокупности транскриптомика в настоящее время представляет собой высокоэффективный инструмент для системного изучения молекулярных механизмов регуляции клеточных функций и обладает значительным потенциалом для дальнейшего развития в рамках фундаментальных и прикладных исследований.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Исследование потенциала ростостимулирующих бактерий для повышения агрономической биофортификации пшеницы» (шифр FZSR-2024-0009)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Transcriptomics technologies* / R. Lowe, N. Shirley, M. Bleackley [et al.] // PLoS Comput Biol. – 2017. – Vol. 13 (5). – P. e1005457. – DOI: 10.1371/journal.pcbi.1005457.
2. *Transcriptomics: A powerful tool to evaluate the behavior of foodborne pathogens in the food production chain* / A. Lamas, P. Regal, B. Vázquez [et al.] // Food Res Int. – 2019. – Vol. 125. – P. 108543. – DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108543.
3. *Spatiotemporal analysis of human intestinal development at single-cell resolution* / D. Fawcner-Corbett, A. Antanaviciute, K. Parikh [et al.] // Cell. – 2021. – Vol. 184 (3). – P. 810–826. – DOI: 10.1016/j.cell.2020.12.016.
4. *Characterization of the yeast transcriptome* / V.E. Velculescu, L. Zhang, W. Zhou [et al.] // Cell. – 1997. – Vol. 88 (2). – P. 243–251. – DOI: 10.1016/s0092-8674(00)81845-0.
5. *Tuteja R., Tuteja N. Serial Analysis of Gene Expression: Applications in Human Studies* // J Biomed Biotechnol. – 2004. – Vol. 2004 (2). – P. 113–120. – DOI: 10.1155/S1110724304308119.
6. *Wang Z., Gerstein M., Snyder M. RNA-Seq: a revolutionary tool for transcriptomics* // Nat Rev Genet. – 2009. – Vol. 10 (1). – P. 57–63. – DOI: 10.1038/nrg2484.
7. *SuperSAGE* / H. Matsumura, M. Reuter, D.H. Krüger [et al.] // Methods Mol Biol. – 2008. – Vol. 387. – P. 55–70. – DOI: 10.1007/978-1-59745-454-4_4.
8. *Gene expression analysis by massively parallel signature sequencing (MPSS) on microbead arrays* / S. Brenner, M. Johnson, J. Bridgham [et al.] // Nat Biotechnol. – 2000. – Vol. 18 (6). – P. 630–634. – DOI: 10.1038/76469.
9. *Quantitative monitoring of gene expression patterns with a complementary DNA microarray* / M. Schena, D. Shalon, R.W. Davis [et al.] // Science. – 1995. – Vol. 270 (5235). – P. 467–470. – DOI: 10.1126/science.270.5235.467.
10. *Transcriptomics in the RNA-seq era* / M. Schena, D. Shalon, R.W. Davis [et al.] // Curr Opin Chem Biol. – 2013. – Vol. 17 (1). – P. 4–11. – DOI: 10.1016/j.cbpa.2012.12.008.
11. *Loop-mediated isothermal amplification (LAMP): a versatile technique for detection of micro-organisms* / Y.P. Wong, S. Othman, Y.L. Lau [et al.] // J Appl Microbiol. – 2018. – Vol. 124 (3). – P. 626–643. – DOI: 10.1111/jam.13647.
12. *Nonis A., De Nardi B., Nonis A. Choosing between RT-qPCR and RNA-seq: a back-of-the-envelope estimate towards the definition of the break-even-point* // Anal Bioanal Chem. – 2014. – Vol. 406 (15). – P. 3533–3536. – DOI: 10.1007/s00216-014-7687-x.
13. *High throughput nano-liter RT-qPCR to classify soil contamination using a soil arthropod* / M.E. de Boer, S. Berg, M.J. Timmermans [et al.] // BMC Mol Biol. – 2011. – Vol. 12. – P. 11. – DOI: 10.1186/1471-2199-12-11.
14. *Mapping and quantifying mammalian transcriptomes by RNA-Seq* / A. Mortazavi, B. Williams, K. McCue [et al.] // Nat Methods. – 2008. – Vol. 5. – P. 621–628. – DOI: 10.1038/nmeth.1226.
15. *Recent advances in high-throughput single-cell transcriptomics and spatial transcriptomics* / X. Shen, Y. Zhao, Z. Wang [et al.] // Lab Chip. – 2022. – Vol. 22 (24). – P. 4774–4791. – DOI: 10.1039/d2lc00633b.

16. *The Functional Impact of Alternative Splicing in Cancer* / H. Climente-González, E. Porta-Pardo, A. Godzik [et al.] // *Cell Rep.* – 2017. – Vol. 20 (9). – P. 2215–2226. – DOI: 10.1016/j.celrep.2017.08.012.
17. *Hager J. Making and using spotted DNA microarrays in an academic core laboratory* // *Methods Enzymol.* – 2006. – Vol. 410. – P. 135–168. – DOI: 10.1016/S0076-6879(06)10007-5.
18. *Afzal M., Manzoor I., Kuipers O.P. A Fast and Reliable Pipeline for Bacterial Transcriptome Analysis Case study: Serine-dependent Gene Regulation in Streptococcus pneumoniae* // *J Vis Exp.* – 2015. – № 98. – P. 52649. – DOI: 10.3791/52649.
19. *Chavan P., Joshi K., Patwardhan B. DNA microarrays in herbal drug research* // *Evid Based Complement Alternat Med.* – 2006. – Vol. 3 (4). – P. 447–457. – DOI: 10.1093/ecam/nel075.
20. *Kurdyukov S., Bullock M. DNA Methylation Analysis: Choosing the Right Method* // *Biology (Basel).* – 2016. – Vol. 5 (1). – P. 3. – DOI: 10.3390/biology5010003.
21. *High-Throughput Transcriptome Profiling in Drug and Biomarker Discovery* / X. Yang, L. Kui, M. Tang [et al.] // *Front Genet.* – 2020. – Vol. 11. – P. 19. – DOI: 10.3389/fgene.2020.00019.
22. *MicroRNAs as regulators, biomarkers and therapeutic targets in liver diseases* / X. Wang, Y. He, B. Mackowiak [et al.] // *Gut.* – 2021. – Vol. 70 (4). – P. 784–795. – DOI: 10.1136/gutjnl-2020-322526.
23. *Detection of hazardous food contaminants by transcriptomics fingerprinting* / K. Lancova, R. Dip, J.P. Antignac [et al.] // *Trends in Analytical Chemistry.* – 2011. – Vol. 30 (2). – P. 181–191. – DOI: 10.1016/j.trac.2010.10.013
24. *Transcriptome profiling identified differentially expressed genes and pathways associated with tamoxifen resistance in human breast cancer* / X. Men, J. Ma, T. Wu [et al.] // *Oncotarget.* – 2017. – Vol. 9 (3). – P. 4074–4089. – DOI: 10.18632/oncotarget.23694.
25. *Kodama Y., Shumway M., Leinonen R. International Nucleotide Sequence Database Collaboration. The Sequence Read Archive: explosive growth of sequencing data* // *Nucleic Acids Res.* – 2012. – Vol. 40. – P. 54–56. – DOI: 10.1093/nar/gkr854.
26. *A survey of best practices for RNA-seq data analysis* / A. Conesa, P. Madrigal, S. Tarazona [et al.] // *Genome Biol.* – 2016. – Vol. 17. – P. 13. – DOI: 10.1186/s13059-016-0881-8.
27. *Quantitative real-time PCR: a powerful ally in cancer research* / S. Mocellin, C.R. Rossi, P. Pilati [et al.] // *Trends Mol Med.* – 2003. – Vol. 9 (5). – P. 189–195. – DOI: 10.1016/s1471-4914(03)00047-9.
28. *Monsalve-Lancheros A., Ibáñez-Pinilla M., Ramírez-Clavijo S. Detection of mammaglobin by RT-PCR as a biomarker for lymph node metastasis in breast cancer patients: A systematic review and meta-analysis* // *PLoS One.* – 2019. – Vol. 14 (5). – P. e0216989. – DOI: 10.1371/journal.pone.0216989.
29. *Real-time quantitative RT-PCR detection of circulating tumor cells from breast cancer patients* / M. Guo, X. Li, S. Zhang [et al.] // *Int J Oncol.* – 2015. – Vol. 46 (1). – P. 281–289. – DOI: 10.3892/ijo.2014.2732.
30. *Regulation of gene expression in inflammatory bowel disease and correlation with IBD drugs: screening by DNA microarrays* / T.P. Dooley, E.V. Curto, S.P. Reddy [et al.] // *Inflamm Bowel Dis.* – 2004. – Vol. 10 (1). – P. 1–14. – DOI: 10.1097/00054725-200401000-00001.
31. *Drug-induced gene expression profile changes in relation to intestinal toxicity: State-of-the-art and new approaches* / D. Rodrigues, T. Souza, D.G.J. Jennen [et al.] // *Cancer Treat Rev.* – 2019. – Vol. 77. – P. 57–66. – DOI: 10.1016/j.ctrv.2019.06.004.
32. *Advances in Transcriptomics in the Response to Stress in Plants* / X. Wang, N. Li, W. Li [et al.] // *Glob Med Genet.* – 2020. – Vol. 7 (2). – P. 30–34. – DOI: 10.1055/s-0040-1714414.
33. *Overexpression of Arabidopsis YUCCA6 enhances environment stress tolerance and inhibits storage root formation in sweetpotato* / S.C. Park, H.S. Kim, H.U. Lee [et al.] // *Plant Biotechnol Rep.* – 2019. – Vol. 13. – P. 345–352. – DOI: 10.1007/s11816-019-00537-0.
34. *Genomic and Transcriptional Analysis of Banana Ovate Family Proteins Reveals Their Relationship with Fruit Development and Ripening* / J. Zhang, H. Miao, B. Xie [et al.] // *Biochem Genet.* – 2020. – Vol. 58 (3). – P. 412–429. – DOI: 10.1007/s10528-020-09951-4.
35. *Recent progress in omics and biotechnological approaches for improved mango cultivars in Pakistan* / G. Zahid, Y.A. Kaçar, F. Shimira [et al.] // *Genetic Resources and Crop Evolution.* – 2022. – Vol. 69 (6). – P. 2047–2065. – DOI: 10.1007/s10722-022-01413-7.
36. *Transcriptome Profiling Provides Insight into the Genes in Carotenoid Biosynthesis during the Mesocarp and Seed Developmental Stages of Avocado (Persea americana)* / Y. Ge, Z. Cheng, X. Si [et al.] // *Int J Mol Sci.* – 2019. – Vol. 20(17). – P. 4117. – DOI: 10.3390/ijms20174117.
37. *Transcriptome analysis reveals a comprehensive insect resistance response mechanism in cotton to infestation by the phloem feeding insect Bemisia tabaci (whitefly)* / J. Li, L. Zhu, J.J. Hull [et al.] // *Plant Biotechnol J.* – 2016. – Vol. 14 (10). – P. 1956–1975. – DOI: 10.1111/pbi.12554.
38. *Transcriptome profiling of pumpkin (Cucurbita moschata Duch.) leaves infected with powdery mildew* / W.L. Guo, B.H. Chen, X.J. Chen [et al.] // *PLoS One.* – 2018. – Vol. 13 (1). – P. e0190175. – DOI: 10.1371/journal.pone.0190175.
39. *Soil contamination alters the willow root and rhizosphere metatranscriptome and the root-rhizosphere interactome* / E. Yergeau, J. Tremblay, S. Joly [et al.] // *ISME J.* – 2018. – Vol. 12 (3). – P. 869–884. – DOI: 10.1038/s41396-017-0018-4.

40. Bashardes S., Zilberman-Schapira G., Elinav E. Use of Metatranscriptomics in Microbiome Research // *Bioinform Biol Insights*. – 2016. – Vol. 10. – P. 19–25. – DOI: 10.4137/BBI.S34610.
41. *Transcriptomic* underpinning of toxicant-mediated physiological function alterations in three terrestrial invertebrate taxa: a review / F. Brulle, A.J. Morgan, C. Cocquerelle [et al.] // *Environ Pollut*. – 2010. – Vol. 158 (9). – P. 2793–2808. – DOI: 10.1016/j.envpol.2010.06.019.
42. *Acidophilic* green algal genome provides insights into adaptation to an acidic environment / S. Hirooka, Y. Hirose, Y. Kanesaki [et al.] // *Proc Natl Acad Sci USA*. – 2017. – Vol. 114 (39). – P. E8304–E8313. – DOI: 10.1073/pnas.1707072114.
43. *Ribose* phosphate isomerase 1 Influences Root Development by Acting on Cell Wall Biosynthesis, Actin Organization, and Auxin Transport in Arabidopsis / J.B. Huang, Y. Zou, X. Zhang [et al.] // *Front Plant Sci*. – 2020. – Vol. 10. – P. 1641. – DOI: 10.3389/fpls.2019.01641.
44. *Understanding* Willow Transcriptional Response in the Context of Oil Sands Tailings Reclamation / A. Samad, G. Pelletier, A. Sguin Kim [et al.] // *Front. Plant Sci*. – 2022. – Vol. 13. – P. 857535. – DOI: 10.3389/fpls.2022.857535.
45. *Transcriptomic* analysis of HepG2 cells exposed to fractionated wastewater effluents suggested humic substances as potential inducer of whole effluent toxicity / H. Hara-Yamamura, T. Fukushima, L.C. Tan [et al.] // *Chemosphere*. – 2020. – Vol. 240. – P. 124894. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.124894.
46. *Metabolic* Features of Ganjang (a Korean Traditional Soy Sauce) Fermentation Revealed by Genome-Centered Metatranscriptomics / B.H. Chun, D.M. Han, H.M. Kim [et al.] // *mSystems*. – 2021. – Vol. 6 (4). – P. e0044121. – DOI: 10.1128/mSystems.00441-21.
47. *Profiling* the composition and metabolic activities of microbial community in fermented grain for the Chinese strong-flavor Baijiu production by using the metatranscriptome, high-throughput 16S rRNA and ITS gene sequencings / X. Hu, K. Wang, M. Chen [et al.] // *Food Res Int*. – 2020. – Vol. 138. – P. 109765. – DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109765.
48. *Transcriptomic* responses of foodborne pathogens to the food matrix / S. Chen, S. He, X. Xu [et al.] // *Current Opinion in Food Science*. – 2021. – Vol. 42. – P. 23–30. – DOI: 10.1016/j.cofs.2021.02.019.
49. *Computational* Approaches and Challenges in Spatial Transcriptomics / S. Fang, B. Chen, Y. Zhang [et al.] // *Genomics Proteomics Bioinformatics*. – 2023. – Vol. 21 (1). – P. 24–47. – DOI: 10.1016/j.gpb.2022.10.001.
50. *Bagyinszky E., Giau V.V., An S.A.* Transcriptomics in Alzheimer's Disease: Aspects and Challenges // *Int J Mol Sci*. – 2020. – Vol. 21 (10). – P. 3517. – DOI: 10.3390/ijms21103517.

REFERENCES

1. Lowe R., Shirley N., Bleackley M. [et al.], Transcriptomics technologies, *PLoS Comput Biol*, 2017, Vol. 13 (5), pp. e1005457, DOI: 10.1371/journal.pcbi.1005457.
2. Lamas A., Regal P., Vázquez B. [et al.], Transcriptomics: A powerful tool to evaluate the behavior of foodborne pathogens in the food production chain, *Food Res Int*, 2019, Vol. 125, pp. 108543, DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108543.
3. Fawcner-Corbett D., Antanaviciute A., Parikh K. [et al.], Spatiotemporal analysis of human intestinal development at single-cell resolution, *Cell*, 2021, Vol. 184 (3), pp. 810–826, DOI: 10.1016/j.cell.2020.12.016.
4. Velculescu V.E., Zhang L., Zhou W. [et al.], Characterization of the yeast transcriptome, *Cell*, 1997, Vol. 88 (2), pp. 243–251, DOI: 10.1016/s0092-8674(00)81845-0.
5. Tuteja R., Tuteja N., Serial Analysis of Gene Expression: Applications in Human Studies, *J Biomed Biotechnol*, 2004, Vol. 2004 (2), pp. 113–120, DOI: 10.1155/S1110724304308119.
6. Wang Z., Gerstein M., Snyder M., RNA-Seq: a revolutionary tool for transcriptomics, *Nat Rev Genet*, 2009, Vol. 10 (1), pp. 57–63, DOI: 10.1038/nrg2484.
7. Matsumura H., Reuter M., Krüger D.H. [et al.], SuperSAGE, *Methods Mol Biol*, 2008, Vol. 387, pp. 55–70, DOI: 10.1007/978-1-59745-454-4_4.
8. Brenner S., Johnson M., Bridgham J. [et al.], Gene expression analysis by massively parallel signature sequencing (MPSS) on microbead arrays, *Nat Biotechnol*, 2000, Vol. 18 (6), pp. 630–634, DOI: 10.1038/76469.
9. Schena M., Shalon D., Davis R.W. [et al.], Quantitative monitoring of gene expression patterns with a complementary DNA microarray, *Science*, 1995, Vol. 270 (5235), pp. 467–470, DOI: 10.1126/science.270.5235.467.
10. Schena M., Shalon D., Davis R.W. [et al.], Transcriptomics in the RNA-seq era, *Curr Opin Chem Biol*, 2013, Vol. 17 (1), pp. 4–11, DOI: 10.1016/j.cbpa.2012.12.008.
11. Wong Y.P., Othman S., Lau Y.L. [et al.], Loop-mediated isothermal amplification (LAMP): a versatile technique for detection of micro-organisms, *J Appl Microbiol*, 2018, Vol. 124 (3), pp. 626–643, DOI: 10.1111/jam.13647.
12. Nonis A., De Nardi B., Nonis A., Choosing between RT-qPCR and RNA-seq: a back-of-the-envelope estimate towards the definition of the break-even-point, *Anal Bioanal Chem*, 2014, Vol. 406 (15), pp. 3533–3536, DOI: 10.1007/s00216-014-7687-x.
13. de Boer M.E., Berg S., Timmermans M.J. [et al.], High throughput nano-liter RT-qPCR to classify soil contamination using a soil arthropod, *BMC Mol Biol*, 2011, Vol. 12, pp. 11, DOI: 10.1186/1471-2199-12-11.

14. Mortazavi A., Williams B., McCue K. [et al.], Mapping and quantifying mammalian transcriptomes by RNA-Seq, *Nat Methods*, 2008, Vol. 5, pp. 621–628, DOI: 10.1038/nmeth.1226.
15. X. Shen, Y. Zhao, Z. Wang [et al.], Recent advances in high-throughput single-cell transcriptomics and spatial transcriptomics, *Lab Chip*, 2022, Vol. 22 (24), pp. 4774–4791, DOI: 10.1039/d2lc00633b.
16. Climente-González H., Porta-Pardo E., Godzik A. [et al.], The Functional Impact of Alternative Splicing in Cancer, *Cell Rep*, 2017, Vol. 20 (9), pp. 2215–2226, DOI: 10.1016/j.celrep.2017.08.012.
17. Hager J., Making and using spotted DNA microarrays in an academic core laboratory, *Methods Enzymol*, 2006, Vol. 410, pp. 135–168, DOI: 10.1016/S0076-6879(06)10007-5.
18. Afzal M., Manzoor I., Kuipers O.P., A Fast and Reliable Pipeline for Bacterial Transcriptome Analysis Case study: Serine-dependent Gene Regulation in *Streptococcus pneumoniae*, *J Vis Exp*, 2015, No. 98, pp. 52649, DOI: 10.3791/52649.
19. Chavan P., Joshi K., Patwardhan B., DNA microarrays in herbal drug research, *Evid Based Complement Alternat Med*, 2006, Vol. 3 (4), pp. 447–457, DOI: 10.1093/ecam/nel075.
20. Kurdyukov S., Bullock M., DNA Methylation Analysis: Choosing the Right Method, *Biology (Basel)*, 2016, Vol. 5 (1), pp. 3, DOI: 10.3390/biology5010003.
21. Yang X., Kui L., Tang M. [et al.], High-Throughput Transcriptome Profiling in Drug and Biomarker Discovery, *Front Genet*, 2020, Vol. 11, pp. 19, DOI: 10.3389/fgene.2020.00019.
22. Wang X., He Y., Mackowiak B. [et al.], MicroRNAs as regulators, biomarkers and therapeutic targets in liver diseases, *Gut*, 2021, Vol. 70 (4), pp. 784–795, DOI: 10.1136/gutjnl-2020-322526.
23. Lancova K., Dip R., Antignac J.P. [et al.], Detection of hazardous food contaminants by transcriptomics fingerprinting, *Trends in Analytical Chemistry*, 2011, Vol. 30 (2), pp. 181–191.
24. Men X., Ma J., Wu T. [et al.], Transcriptome profiling identified differentially expressed genes and pathways associated with tamoxifen resistance in human breast cancer, *Oncotarget*, 2017, Vol. 9 (3), pp. 4074–4089, DOI: 10.18632/oncotarget.23694.
25. Kodama Y., Shumway M., Leinonen R., International Nucleotide Sequence Database Collaboration. The Sequence Read Archive: explosive growth of sequencing data, *Nucleic Acids Res*, 2012, Vol. 40, pp. 54–56, DOI: 10.1093/nar/gkr854.
26. Conesa A., Madrigal P., Tarazona S. [et al.], A survey of best practices for RNA-seq data analysis, *Genome Biol*, 2016, Vol. 17, pp. 13, DOI: 10.1186/s13059-016-0881-8.
27. Mocellin S., Rossi C.R., Pilati P. [et al.], Quantitative real-time PCR: a powerful ally in cancer research, *Trends Mol Med*, 2003, Vol. 9 (5), pp. 189–195, DOI: 10.1016/s1471-4914(03)00047-9.
28. Monsalve-Lancheros A., Ibáñez-Pinilla M., Ramírez-Clavijo S., Detection of mammaglobin by RT-PCR as a biomarker for lymph node metastasis in breast cancer patients: A systematic review and meta-analysis, *PLoS One*, 2019, Vol. 14 (5), pp. e0216989, DOI: 10.1371/journal.pone.0216989.
29. Guo M., Li X., Zhang S. [et al.], Real-time quantitative RT-PCR detection of circulating tumor cells from breast cancer patients, *Int J Oncol*, 2015, Vol. 46 (1), pp. 281–289, DOI: 10.3892/ijo.2014.2732.
30. Dooley T.P., Curto E.V., Reddy S.P. [et al.], Regulation of gene expression in inflammatory bowel disease and correlation with IBD drugs: screening by DNA microarrays, *Inflamm Bowel Dis*, 2004, Vol. 10 (1), pp. 1–14, DOI: 10.1097/00054725-200401000-00001.
31. Rodrigues D., Souza T., Jennen D.G.J. [et al.], Drug-induced gene expression profile changes in relation to intestinal toxicity: State-of-the-art and new approaches, *Cancer Treat Rev*, 2019, Vol. 77, pp. 57–66, DOI: 10.1016/j.ctrv.2019.06.004.
32. Wang X., Li N., Li W. [et al.], Advances in Transcriptomics in the Response to Stress in Plants, *Glob Med Genet*, 2020, Vol. 7 (2), pp. 30–34, DOI: 10.1055/s-0040-1714414.
33. Park S.C., Kim H.S., Lee H.U. [et al.], Overexpression of Arabidopsis YUCCA6 enhances environment stress tolerance and inhibits storage root formation in sweetpotato, *Plant Biotechnol Rep*, 2019, Vol. 13, pp. 345–352, DOI: 10.1007/s11816-019-00537-0.
34. Zhang J., Miao H., Xie B. [et al.], Genomic and Transcriptional Analysis of Banana Ovate Family Proteins Reveals Their Relationship with Fruit Development and Ripening, *Biochem Genet*, 2020, Vol. 58 (3), pp. 412–429, DOI: 10.1007/s10528-020-09951-4.
35. Zahid G., Kaçar Y.A., Shimira F. [et al.], Recent progress in omics and biotechnological approaches for improved mango cultivars in Pakistan, *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2022, Vol. 69 (6), pp. 2047–2065, DOI: 10.1007/s10722-022-01413-7.
36. Ge Y., Cheng Z., Si X. [et al.], Transcriptome Profiling Provides Insight into the Genes in Carotenoid Biosynthesis during the Mesocarp and Seed Developmental Stages of Avocado (*Persea americana*), *Int J Mol Sci*, 2019, Vol. 20 (17), pp. 4117, DOI: 10.3390/ijms20174117.
37. Li J., Zhu L., Hull J.J. [et al.], Transcriptome analysis reveals a comprehensive insect resistance response mechanism in cotton to infestation by the phloem feeding insect Bemisia tabaci (whitefly), *Plant Biotechnol J*, 2016, Vol. 14 (10), pp. 1956–1975, DOI: 10.1111/pbi.12554.
38. Guo W.L., Chen B.H., Chen X.J. [et al.], Transcriptome profiling of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) leaves infected with powdery mildew, *PLoS One*, 2018, Vol. 13 (1), pp. e0190175, DOI: 10.1371/journal.pone.0190175.

39. Yergeau E., Tremblay J., Joly S. [et al.], Soil contamination alters the willow root and rhizosphere metatranscriptome and the root-rhizosphere interactome, *ISME J*, 2018, Vol. 12 (3), pp. 869–884, DOI: 10.1038/s41396-017-0018-4.
40. Bashiardes S., Zilberman-Schapira G., Elinav E., Use of Metatranscriptomics in Microbiome Research, *Bioinform Biol Insights*, 2016, Vol. 10, pp. 19–25, DOI: 10.4137/BBI.S34610.
41. Brulle F., Morgan A.J., Cocquerelle C. [et al.], Transcriptomic underpinning of toxicant-mediated physiological function alterations in three terrestrial invertebrate taxa: a review, *Environ Pollut*, 2010, Vol. 158 (9), pp. 2793–2808, DOI: 10.1016/j.envpol.2010.06.019.
42. Hirooka S., Hirose Y., Kanesaki Y. [et al.], Acidophilic green algal genome provides insights into adaptation to an acidic environment, *Proc Natl Acad Sci USA*, 2017, Vol. 114 (39), pp. E8304–E8313, DOI: 10.1073/pnas.1707072114.
43. Huang J.B., Zou Y., Zhang X. [et al.], Ribose phosphate isomerase 1 Influences Root Development by Acting on Cell Wall Biosynthesis, Actin Organization, and Auxin Transport in Arabidopsis, *Front Plant Sci*, 2020, Vol. 10, pp. 1641, DOI: 10.3389/fpls.2019.01641.
44. Samad A., Pelletier G., Sguin Kim A. [et al.], Understanding Willow Transcriptional Response in the Context of Oil Sands Tailings Reclamation, *Front. Plant Sci*, 2022, Vol. 13, pp. 857535, DOI: 10.3389/fpls.2022.857535.
45. Hara-Yamamura H., Fukushima T., Tan L.C. [et al.], Transcriptomic analysis of HepG2 cells exposed to fractionated wastewater effluents suggested humic substances as potential inducer of whole effluent toxicity, *Chemosphere*, 2020, Vol. 240, pp. 124894, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.124894.
46. Chun B.H., Han D.M., Kim H.M. [et al.], Metabolic Features of Ganjang (a Korean Traditional Soy Sauce) Fermentation Revealed by Genome-Centered Metatranscriptomics, *mSystems*, 2021, Vol. 6 (4), pp. e0044121, DOI: 10.1128/mSystems.00441-21.
47. Hu X., Wang K., Chen M. [et al.], Profiling the composition and metabolic activities of microbial community in fermented grain for the Chinese strong-flavor Baijiu production by using the metatranscriptome, high-throughput 16S rRNA and ITS gene sequencings, *Food Res Int*, 2020, Vol. 138, pp. 109765, DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109765.
48. Chen S., He S., Xu X. [et al.], Transcriptomic responses of foodborne pathogens to the food matrix, *Current Opinion in Food Science*, 2021, Vol. 42, pp. 23–30, DOI: 10.1016/j.cofs.2021.02.019.
49. Fang S., Chen B., Zhang Y. [et al.], Computational Approaches and Challenges in Spatial Transcriptomics, *Genomics Proteomics Bioinformatics*, 2023, Vol. 21 (1), pp. 24–47, DOI: 10.1016/j.gpb.2022.10.001.
50. Bagyinszky E., Giau V.V., An S.A., Transcriptomics in Alzheimer's Disease: Aspects and Challenges, *Int J Mol Sci*, 2020, Vol. 21 (10), pp. 3517, DOI: 10.3390/ijms21103517.

Информация об авторах:

Ю.Р. Серазетдинова, аспирант направления 2.7.1 Биотехнологии пищевых продуктов, лекарственных и биологически активных веществ ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Д.Е. Колпакова, аспирант обучения направления 4.3.3 Пищевые системы ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

А. Наик, аспирант обучения направления 4.3.5 Биотехнологии продуктов питания и биологически активных веществ ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

И.И. Пleshivtsev, аспирант обучения направления 4.3.3 Пищевые системы ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Л.К. Асякина, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры бионанотехнологии ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

А.Ю. Просеков, доктор технических наук, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры бионанотехнологии ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Contribution of the authors:

Yu.R. Serazetdinova, postgraduate student in the field of 2.7.1 Biotechnology of Food Products, Medicinal and Biologically Active Substances at Kemerovo State University.

D.E. Kolpakova, postgraduate student in the field of 4.3.3 Food Systems at Kemerovo State University.

A. Naik, postgraduate student in the field of 4.3.5 Biotechnology of Food Products and Biologically Active Substances at Kemerovo State University.

I.I. Pleshivtsev, postgraduate student in the field of 4.3.3 Food Systems at Kemerovo State University.

L.K. Asyakina, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Bionanotechnology at Kemerovo State University.

A.Yu. Prosekov, Doctor of Technical Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor at the Department of Bionanotechnology at Kemerovo State University.

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-262-269
УДК 619: [616.36:546.41:575.22]: 636.2.082/84

РОЛЬ ГЕНОТИПА ОТЦОВ В АККУМУЛЯЦИИ КАЛЬЦИЯ В ПЕЧЕНИ ПОТОМКОВ БЫКОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ

М.В. Стрижкова, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, М.Л. Кочнева, И.В. Моружи, Е.В. Пищенко, В.Г. Маренков

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: mvstrizhkova@yandex.ru

Для цитирования: Роль генотипа отцов в аккумуляции кальция в печени потомков быков голштинской породы / М.В. Стрижкова, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, М.Л. Кочнева, И.В. Моружи, Е.В. Пищенко, В.Г. Маренков // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 262–269. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-262-269.

Ключевые слова: голштинская порода, генотип, быки-производители, печень, кальций.

Реферат. В статье представлены материалы по концентрации Ca в печени, установленной у сыновей разных быков-производителей голштинской породы. Эксперименты проведены на животных, разводимых в Кузбассе. Для четырех экспериментальных групп скота были созданы одинаковые условия кормления и содержания. Проведенный анализ кормов, почвы, воды не установил превышающего уровня тяжелых металлов в месте содержания крупного рогатого скота голштинской породы. Была определена концентрация Ca в печени бычков, которую исследовали методом атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе ICP AES IRIS. Установлена генетическая компонента в изменчивости содержания исследованного макроэлемента в печени. Так, содержание кальция в данном органе у бычков разных отцов голштинской породы находилось на уровне 41–51,3 мг/кг. Показаны межгрупповые различия по содержанию кальция. У потомков быка № 318 этот показатель был в 1,2 раза ниже, чем у бычков производителя № 212 ($p < 0,05$). Сила влияния генотипа быков-производителей на уровень накопления кальция в печени потомков составила 29 % ($p < 0,05$). Таким образом, выявлено влияние генотипа отцов на уровень кальция в печени сыновей. Фенотипическая изменчивость содержания кальция в печени варьировала от 9,2 до 22,3 %. Анализ сходства между потомками разных быков-производителей по содержанию кальция в печени выявил два кластера, в один из которых вошли потомки быка с пониженным содержанием Ca, соответственно в другой – остальные бычки. Установленные средние популяционные значения концентрации кальция в изученной популяции можно принять за физиологическую норму для голштинского скота в климатических условиях Западной Сибири, их можно использовать в качестве показателей для характеристики интерьера. Содержание кальция и других химических элементов в органах и тканях дает более точное представление о химическом статусе молочного скота.

THE ROLE OF THE PATERNAL GENOTYPE IN THE ACCUMULATION OF CALCIUM IN THE LIVER OF DESCENDANTS OF HOLSTEIN BULLS

M.V. Strizhkova, T.V. Konvalova, O.I. Korotkevich, B.L. Petukhov, M.L. Kochneva, I.V. Moruzi, E.V. Pishchenko, V.G. Marenkov

Novosibirsk state agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: mvstrizhkova@yandex.ru

Keywords: Holstein breed, genotype, breeding bulls, liver, calcium.

Abstract. The article presents materials on the concentration of Ca in the liver of the sons of different Holstein bulls. The experiments were conducted on animals bred in the Kuzbass region. Four experimental groups of cattle were provided with identical feeding and housing conditions. The analysis of feed, soil, and water did not reveal any excessive levels of heavy metals in the area where the Holstein cattle were kept. The concentration of Ca in the liver of the bulls was determined using atomic emission spectrometry on an ICP AES IRIS instrument. A genetic component in the variability of the content of the studied macronutrient in the liver was established. Thus, the content of calcium in this organ in bulls of different Holstein breed fathers was at the level of 41–51.3 mg/kg. Intergroup differences in the content of calcium are shown. In the descendants of bull No. 318, this indicator was 1.2 times lower than in bulls of the manufacturer No. 212 ($p < 0.05$). The effect of the bulls' genotype on the level of calcium accumulation in the offspring's liver was 29 % ($p < 0.05$). Thus, the effect of the fathers' genotype

on the level of calcium in the sons' liver was revealed. The phenotypic variability of calcium content in the liver ranged from 9.2 % to 22.3 %. Analysis of the similarity between the descendants of different bulls-producers in terms of the calcium content in the liver revealed two clusters, one of which included the descendants of a bull with a reduced calcium content, and the other included the remaining bulls. The established average population values of calcium concentration in the studied population can be considered the physiological norm for Holstein cattle in the climatic conditions of Western Siberia, and they can be used as indicators for characterizing the interior. The content of calcium and other chemical elements in organs and tissues provides a more accurate representation of the chemical status of dairy cattle.

Концентрации макро- и микроэлементов в тканях и органах животных наглядно отражают физиологический гомеостаз организма, состояние здоровья [1–3]. Особое значение исследования содержания этих биогенных элементов приобретают в контексте тестирования безопасности продуктов питания, которые получают в животноводческой отрасли. В этой связи установление вклада наследственных факторов в аккумуляции химических элементов в организме [3, 4] представляет актуальность.

Значительная доля кальция в костях содержится в виде фосфатов, выполняя функцию хранилища макроэлемента в организме. Известно, что кальций принимает участие в сокращении мышц, процессах гемостаза, передаче нервных сигналов. Основные этапы метаболизма химического элемента в организме включают в себя всасывание, образование и обновление костной ткани, а также выведение через почки [4]. Усвоение кальция происходит частично. На этот процесс влияют лактоза и фруктоза, аминокислоты, особенно лизин и аргинин, минеральные вещества, которые находятся в рационе животных [4, 5]. Например, если в организме избыток фосфора или стронция, то это может замедлять усвоение кальция. В тонком кишечнике абсорбция минерала происходит в три этапа. Сначала он поступает в клетку через кальциевые каналы, внутри связывается с белком кальбиндином, который играет важную транспортную роль [4, 5]. При помощи транспортного белка Са-АТФазы кальций выводится через почки. Его реабсорбция в проксимальных канальцах происходит пассивным способом, а в дистальных – активно. Доля выделяемого кальция составляет 1–3 % от общего фильтруемого объема. Невсосавшийся кальций выводится из желудочно-кишечного тракта. Механизм выделения, который происходит в кишечнике, схож с выделением кальция почками, но в этом процессе принимают участие другие виды белков. Обмен кальция связан с обменом фосфора, он регулируется с помощью гормонов кальцитриола, т.е.

активной формы витамина D, паратиреоидного гормона и кальцитонина [4, 5].

Паратиреоидный гормон синтезируется клетками паращитовидных желез в ответ на понижение концентрации кальция в крови. Он воздействует на почки, увеличивая реабсорбцию макроэлемента в дистальных канальцах и снижая ее в проксимальных. Кроме того, паратиреоидный гормон способствует разрушению костной ткани, он воздействует на остеобласты. Щитовидная железа продуцирует кальцитонин, который ингибирует резорбцию костной ткани остеокластами, понижая уровень кальция в крови [4,5].

Зарубежные авторы исследовали содержание макро- и микроэлементов в печени буйволов в разные периоды года и в различной местности. Например, содержание кальция в печени буйволов в засушливый период составляло 5413,91 мг/кг, а в дождливый период было 6536,74 мг/кг. Эти различия могут быть связаны с усвояемостью в кишечнике животных. Например, кальций может хуже усваиваться при дефиците витамина D [6]. Самая высокая концентрация минерала в печени буйволов, выращиваемых на Марахо, в оба периода года может быть связана с рационом, который богат данным элементом. Содержание кальция в печени 2672,26 мг/кг в засушливый период, 2624,79 мг/кг в дождливый период соответственно [6].

Ранее нами выявлена генетическая компонента содержания фосфора в печени коров голштинской породы [7]. В этой связи актуальным является продолжение исследований в данном направлении по установлению генетической компоненты в уровне содержания микро- и макроэлементов в тканях и органах сельскохозяйственных животных.

Целью настоящего исследования явилось выявление изменчивости уровня кальция в печени потомков разных быков-производителей голштинской породы, обусловленной генетическими факторами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведена оценка генетической изменчивости содержания кальция в печени потомков быков голштинской породы. Опыт был проведен в племенном хозяйстве Кузбасса. Для исследований взяли случайную выборку 12–14-месячных бычков, являющихся потомками четырех производителей голштинской породы. Условия содержания и кормления исследованных животных до убоя были одинаковыми.

Концентрация кальция в печени потомков разных быков-производителей определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии (прибор ICP AES IRIS) на базе аналитического центра коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН.

На основании данных исследований химического состава воды, почвы, растений было уста-

новлено, что уровень минеральных элементов находился в пределах агрохимических и биогеохимических норм. По уровню радионуклидов также не выявлено превышение ПДК для Западной Сибири [8, 9].

Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлена в среде R.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в рамках тематики научных работ «Изучение фенотипа и генофонда пород сельскохозяйственных животных Западной Сибири» [9–11]. Влияние генетических факторов на уровень макро- и микроэлементов остается малоизученным вопросом. В нашем исследовании мы определили, как генетические факторы влияют на содержание Ca в печени бычков, полученных от разных производителей голштинской породы (табл. 1).

Таблица 1

Содержание Ca в образцах печени бычков разных производителей голштинской породы, мг/кг
Calcium content in liver samples from Holstein bulls of different sires, mg/kg

Индивидуальный номер производителя	Кол-во потомков	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Me
10	6	48,2±2,1	48,3
131	8	49,2±2,8	48,0
212	9	50,3±1,5	51,3
318	11	41,4±2,8	41,0

Анализ данных табл. 1 показал, что содержание кальция у сыновей разных производителей варьировало в пределах от 41,4 до 50,3 мг/кг. В то же время установлено, что у потомков быка № 318 концентрация Ca в печени была в 1,2 раза ниже, чем у бычков отца № 212 ($p < 0,05$).

С помощью дисперсионного анализа выявлено, что разнообразие по уровню Ca в печени

потомков разных производителей на 29 % обусловлено генетическими факторами ($p < 0,05$), т. е. изменчивость исследуемого показателя между потомками зависит от генотипа отца.

Фенотипическая вариабельность содержания кальция была невысокой и находилась на среднем уровне, что следует из данных табл. 2.

Таблица 2

Вариабельность уровня Ca в образцах печени бычков разных производителей голштинской породы, мг/кг
Variability of Ca levels in liver samples from Holstein bulls of different sires, mg/kg

Индивидуальный номер производителя	Lim	Q_1	Q_3	IQR	SD	C_v , %
10	42–55	42,9	53,2	10,2	5,2	10,8
131	34–58	45,1	55,3	10,2	7,8	15,9
212	44–56	46,0	53,7	7,7	4,6	9,2
318	29–64	37,3	43,7	6,3	9,2	22,3

Примечание. Lim – крайние значения вариант; Q_1 – 1-й квартиль; Q_3 – 3-й квартиль; IQR – межквартильный размах; SD – стандартное отклонение; C_v – коэффициент вариации.

Lim – maximum and minimum values Q_1 – 1st quartile; Q_3 – 3rd quartile; IQR – interquartile ranges; SD – standard deviation; C_v – coefficient of variation.

Интересно отметить тот факт, что у бычков отца № 318 на фоне пониженного уровня Са в сравнении с потомками других быков зарегистрированы более широкие границы изменчивости, а также повышенный коэффициент вариации (22.3 %).

Полигоны распределения концентрации кальция в печени сыновей разных производителей отражены на рис. 1.

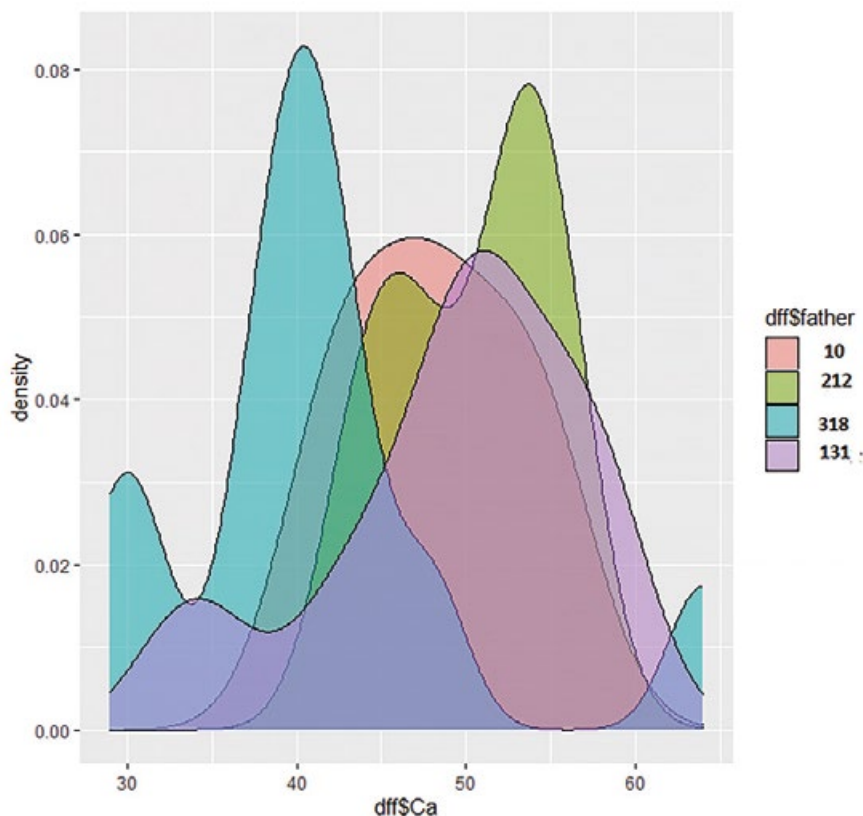


Рис. 1. Плотность распределения вероятностей концентрации кальция в потомстве племенных быков
Probability density function of calcium concentration in the offspring of breeding bulls

У сыновей быков-производителей № 318 и 212 отмечены различия по плотности распределения вероятностей уровня кальция, что подтверждается и статистически значимыми различиями между средними значениями.

Нами изучен уровень сходства и различий между потомками разных быков-производителей по содержанию кальция в печени (рис. 2).

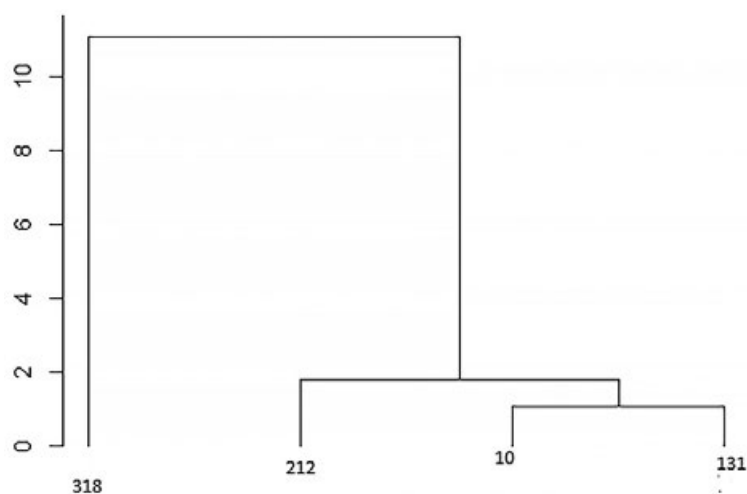


Рис. 2. Дендрограмма сходства уровня Са в печени потомков разных быков-производителей
Dendrogram of similarity of Ca levels in the liver of offspring of different breeding bulls

Выявлено два кластера, в один входят сыновья быка № 318, во второй – потомки остальных производителей, внутри которого сыновья быков № 10 и 131 характеризуются большей общностью по накоплению макроэлемента Са в печени.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ряде работ показано влияние генетических (генотип, порода) и негенетических факторов (условия кормления и содержания) на биоэлементный состав организма [12–14]. Это повышает интерес к проведению более углубленных исследований на разных видах животных по определению уровня химических элементов в организме животных [15–17]. Наличие генетической изменчивости по уровню минерального состава в разных тканях и органах организма животных определяет новые подходы в программах разведения племенных животных [18–20]. Склонность к накоплению минералов в организме нужно продолжать изучать у разных видов, пород, линий [18–20].

Как известно, физиологические и биохимические процессы организма животных оказывают существенное влияние на минеральный статус организма [21, 22]. Выявление маркеров для оценки уровня макро- и микроэлементов в органах и тканях в разные периоды онтогенеза является важным фактором проводимых исследований [23–25].

Полученные результаты указывают на наследственную предрасположенность уровня кальция в печени быков голштинской породы. Исследо-

вания, направленные на выявление подобных особенностей, которые влияют на способность животных различных видов накапливать макроэлементы в органах и тканях, продолжаются. В наших исследованиях проводится анализ, как уровень макроэлементов в организме связан с биохимическими, физиологическими, молекулярно-генетическими, цитогенетическими и другими показателями.

Поскольку исследованные нами животные находились оптимальных условиях содержания и были фенотипически здоровыми, то установленные уровни содержания кальция в печени рекомендуем использовать в качестве физиологической нормы для быков голштинской породы, разводимых на территории Кемеровской области.

ВЫВОДЫ

1. Генотип быков голштинской породы оказывает влияние на концентрацию кальция в печени потомков.

2. У сыновей быка № 212 содержание кальция в печени было в 1,2 раза выше по сравнению с установленным минимальным значением среди всех оцениваемых групп ($p < 0,05$).

3. Влияние генотипа производителей на изменчивость уровня кальция в печени их сыновей составило 29 % в общей фенотипической, которая была средней, коэффициент вариабельности находился в пределах от 9,2 до 22,3 %.

Исследования выполнены по госбюджетной теме «Изучение генофонда и фенофонда пород сельскохозяйственных животных в Сибири» (РК 01201362239).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Stepanova M.V., Sotnikova L.F., Zaitsev S.Y.* Relationships between the content of micro-and macroelements in animal samples and diseases of different etiologies // *Animals*. – 2023. – Vol. 13, № 5. – P. 852. – DOI: 10.3390/ani13050852.
2. *Content of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in the forages of various ecological zones of Western Siberia / O.S. Korotkevich, V.L. Petukhov, O.I. Sebezhko [et al.]* // *Russian Agricultural Sciences*. – 2014. – Vol. 40, № 3. – P. 195–197.
3. *Kicińska A., Glichowska P., Mamak M.* Micro and macroelement contents in the liver of farm and wild animals and the health risks involved in liver consumption // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2019. – Vol. 191, № 3. – P. 132. – DOI: 10.1007/s10661-019-7274-x.
4. *Puls R.* Mineral levels in animal health diagnostic data. – Canada: Sherpa International, 1988. – 153 p.
5. *Влияние быков-производителей голштинской породы на уровень мочевины в сыворотке крови / О.И. Себежко, К.Н. Нарожных, О.С. Короткевич [и др.]* // *Зоотехния*. – 2021. – № 7. – С. 17–20.
6. *Mineral content of liver of Buffaloes (Bubalus bubalis) reared in different ecosystems in the Eastern Amazon / L.S. Rodrigues, J.A. Rodrigues da Silva [et al.]* // *Animals*. – 2023. – № 13 (7). – P. 1157. – DOI: 10.3390/ani13071157.
7. *Влияние генотипа быков-производителей голштинской породы на содержание фосфора в печени потомков / М.В. Стрижкова, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич [и др.]* // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2024. – № 4 (73). – С. 272–279. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-272-279.
8. *Lead content in soil, water, grains, and muscle tissue of cattle in Western Siberia (Russia) / K.N. Naroznykh, T.V. Konovalova, N.I. Shishin [et al.]* // *Indian Journal of Ecology*. – 2018. – Vol. 45, № 4. – P. 866–871.

9. *Ecological and biogeochemical evaluation of elements contents in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia* / A.I. Syso, V.A. Sokolov, V.L. Petukhov [et al.] // *J. Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, № 4. – P. 368–374.
10. *Lead content in bristle in aboriginal pigs of Siberia* / A.V. Nazarenko, O.A. Zaiko, T.V. Konovalova [et al.] // *Trace Elements and Electrolytes*. – 2021. – Vol. 38, № 3. – P. 150.
11. *Качество спермы быков красных пород ОАО племпредприятие «Барнаульское» и устойчивость ее к криоконсервации* / А.И. Желтиков, Т.В. Коновалова, О.И. Себежко [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2021. – № 1(58) – С. 92–100.
12. *Correlation of phosphorus level with macro- and microelements in bristles of landrace pigs* / O.A. Zaiko, A.V. Nazarenko, M.V. Strizhkova [et al.] // *BIO WEB OF CONFERENCES. International Scientific and Practical Conference “Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture” (FSRAABA 2021)*. – Tyumen, 2021. – P. 06031.
13. *Коновалова Т.В. Влияние генотипа отцов на содержание меди в печени потомков у крупного рогатого скота* // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2024. – № 1 (70). – С. 196–203. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-196-203.
14. *Петухов В.Л., Камалдинов Е.В., Короткевич О.С. Влияние породы на устойчивость крупного рогатого скота к некоторым болезням* // *Главный зоотехник*. – 2011. – № 1. – С. 10–12.
15. *Закономерности аккумуляции тяжелых металлов в легких бычков герефордской породы в Западной Сибири* / К.Н. Нарожных, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич [и др.] // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 6. – С. 1447.
16. *Петухов В.Л., Миллер И.С., Короткевич О.С. Содержание тяжелых металлов в мышцах судака (Stizostedion lucioperca)* // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета*. – 2012. – № 2–2 (23). – С. 49–52.
17. *Способ отбора крупного рогатого скота на устойчивость к туберкулезу: пат. RU 2058733 C1* / Петухов В.Л., Эрнст Л.К., Желтиков А.И., Незавитин А.Г., Короткевич О.С., Петухов И.В., Куликова С.Г.; заявл. 15.06.1993; опубл. 27.04.1996. – 6 с.
18. *Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of West Siberia* / O.S. Korotkevich, M.P. Lyukhanov, V.L. Petukhov, N.S. Yudin [et al.] // *Proceedings of the 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. August 17–22. Vancouver, Canada, 2014. – DOI: 10.13140/2.1.1987.0084.
19. *Эрнст Л.К., Желтиков А.И., Петухов В.Л. Физиологические и иммунологические показатели голштинизированного сибирского типа черно-пестрого скота* // *Российская сельскохозяйственная наука*. – 1999. – № 6. – С. 35.
20. *Способ оценки кадмия в печени и легких крупного рогатого скота: пат. RU 2548774 C1* / Короткевич О.С., Нарожных К.Н., Коновалова Т.В., Петухов В.Л., Себежко О.И., Зайко О.А., Купцов А.В., Гревцов Д.С., Миллер И.С., Стрижкова М.В.; заявл. 25.03.2014; опубл. 20.04.2015, Бюл. № 11. – 6 с.
21. *Способ оценки кадмия в мышечной ткани крупного рогатого скота: пат. RU 2758902 C1* / Нарожных К.Н., Соколова Э.С., Коновалова Т.В., Себежко О.И., Короткевич О.С., Петухов В.Л., Рудой Е.В., Зайко О.В., Стрижкова М.В.; заявл. 14.07.2020; опубл. 02.11.2021, Бюл. 31. – 6 с.
22. *Способ комплексного отбора быков-производителей по устойчивости потомства к болезням: патRU2083102 C1* / Петухов В.Л., Эрнст Л.К., Незавитин А.Г., Желтиков А.И., Короткевич О.С., Куликова С.Г., Маренков В.Г., Кочнев Н.Н., Шишков В.П., Христенко В.Т.; заявл. 01.08.1995; опубл. 10.07.1997. – 7 с.
23. *Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia* / A.I. Syso, M.A. Lebedeva, A.S. Cherevko [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, № 4. – P. 368–374.
24. *Влияние генотипа быков-производителей голштинской породы на уровень некоторых показателей азотистого обмена потомства в условиях Западной Сибири* / О.И. Себежко, К.Н. Нарожных, Т.В. Коновалова [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2020. – № 1 (54). – С. 72–81.
25. *Макро- и микроэлементы в почвах и кормовых травах прифермерских полей Барнаульского Приобья* / А.И. Сысо, М.А. Лебедева, С.А. Худяев [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2017. – № 3 (44). – С. 54–61.

REFERENCES

1. Stepanova M.V., Sotnikova L.F., Zaitsev S.Y., Relationships between the content of micro-and macroelements in animal samples and diseases of different etiologies, *Animals*, 2023, Vol. 13, No. 5, pp. 852, DOI: 10.3390/ani13050852.
2. Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Sebezko O.I., Barinov Ye.Ya., Konovalova T.V., Content of 137 Cs and 90 Sr in the forages of various ecological zones of Western Siberia, *Russian Agricultural Sciences*, 2014, Vol. 40, No. 3, pp. 195–197.

3. Kicińska A., Glichowska P., Mamak M., Micro- and macroelement contents in the liver of farm and wild animals and the health risks involved in liver consumption, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019, Vol. 191, No. 3, pp. 132, DOI: 10.1007/s10661-019-7274-x.
4. Puls R., Mineral levels in animal health diagnostic data, Canada: Sher-pa international, 1988, 153 p.
5. Sebezhko O.I., Narozhnyh K.N., Konovalova T.V. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2020, No. 1 (54), pp. 72–81. (In Russ.)
6. Rodrigues L.S., Rodrigues da Silva J.A. [et al.], Mineral content of liver of Buffaloes (*Bubalus bubalis*) Reared in different ecosystems in the Eastern Amazon, *Animals*, 2023, No. 13 (7), pp. 1157, DOI: 10.3390/ani13071157.
7. Strizhkova M.V., Konovalova T.V., Korotkevich O.S. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2024, No. 4 (73), pp. 272–279, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-272-279. (In Russ.)
8. Naroznykh K.N., Konovalova T.V., Shishin N.I. [et al.], Lead content in soil, water, grains, and muscle tissue of cattle in Western Siberia (Russia), *Indian Journal of Ecology*, 2018, Vol. 45, No. 4, pp. 866–871.
9. Syso A.I., Sokolov V.A., Petukhov V.L. [et al.], Ecological and biogeochemical evaluation of elements contents in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, *J. Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 4, pp. 368–374.
10. Nazarenko A.V., Zaiko O.A., Konovalova T.V. [et al.], Lead content in bristle in aboriginal pigs of Siberia, *Trace Elements and Electrolytes*, 2021, Vol. 38, No. 3, pp. 150.
11. Zheltikov A.I., Konovalova T.V., Sebezhko O.I. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2021, No. 1 (58), pp. 92–100. (In Russ.)
12. Zaiko O.A., Nazarenko A.V., Strizhkova M.V. [et al.], Correlation of phosphorus level with macro and microelements in bristles of landrace pigs, *BIO WEB OF CONFERENCES*, International Scientific and Practical Conference “Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture” (FSRAABA 2021), Tyumen, 2021, pp. 06031.
13. Konovalova T.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2024, No. 1 (70), pp. 196–203, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-196-203. (In Russ.)
14. Petuxov V.L., Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S., *Glavnyj zooteknik*, 2011, No. 1, pp. 10–12. (In Russ.)
15. Narozhnyx K.N., Konovalova T.V., Korotkevich O.S. [i dr.], *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, No. 6, pp. 1447. (In Russ.)
16. Petuxov V.L., Miller I.S., Korotkevich O.S., *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, No. 2–2 (23), pp. 49–52. (In Russ.)
17. Patent na izobretenie RU 2058733 S1, *Sposob otbora krupnogo rogatogo skota na ustojchivost k tuberkulezu* (Method of selection of cattle for resistance to tuberculosis), Petuxov V.L., E'rnst L.K., Zhel'nikov A.I., Nezavitin A.G., Korotkevich O.S. Petuxov I.V. Kulikova S.G., 27.04.1996, Zayavka № 93031684/15 ot 15.06.1993. (In Russ.)
18. Korotkevich O.S., Lyukhanov M.P., Petukhov V.L. [et al.], Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of West Siberia, *Proceedings of the 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, August 17–22, Vancouver, Canada, 2014, DOI: 10.13140/2.1.1987.0084.
19. E'rnst L.K., Zheltikov A.I., Petuxov V.L., *Rossijskaya sel'skoxozyajstvennaya nauka*, 1999, No. 6, pp. 35. (In Russ.)
20. Patent na izobretenie RU 2548774 C1, *Sposob ocenki kadmiya v pecheni i legkix krupnogo rogatogo skota* (Method for assessing cadmium in the liver and lungs of cattle), Korotkevich O.S., Narozhnyx K.N., Konovalova T.V., Petuxov V.L., Sebezhko O.I., Zajko O.A., Kupczov A.V., Grevczov D.S., Miller I.S., Strizhkova M.V., 20.04.2015, Zayavka № 2014111570/15 ot 25.03.2014. (In Russ.)
21. Patent na izobretenie RU 2758902 C1, *Sposob ocenki kadmiya v my'shechnoj tkani krupnogo rogatogo skota* (Method for assessing cadmium in muscle tissue of cattle), Narozhnyx K.N., Sokolova E'.S., Konovalova T.V., Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Petuxov V.L., Rudoj E.V., Zajko O.V., Strizhkova M.V., 02.11.2021, Zayavka № 2020124521 ot 14.07.2020. (In Russ.)
22. Patent na izobretenie RU2083102 S1, *Sposob kompleksnogo otbora by'kov-proizvoditelej po ustojchivosti potomstva k boleznjam* (A method for comprehensive selection of breeding bulls for progeny resistance to diseases), Petuxov V.L., E'rnst L.K., Nezavitin A.G., Zheltikov A.I., Korotkevich O.S., Kulikova S.G., Marenkov V.G., Kochnev N.N., Shishkov V.P., Xristenko V.T., 10.07.1997, Zayavka № 95113836/13 ot 01.08.1995. (In Russ.)
23. Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S. [et al.], Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 4, pp. 368–374.
24. Sebezhko O.I., Narozhnyh K.N., Korotkevich O.S. [i dr.], *Zootekhnika*, 2021, No. 7, pp. 17–20. (In Russ.)
25. Syso A.I., Lebedeva M.A., Hudyaev S.A. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2017, No. 3 (44), pp. 54–61. (In Russ.)

Информация об авторах:

М.В. Стрижкова, кандидат биологических наук

Т.В. Коновалова, старший преподаватель

О.С. Короткевич, доктор биологических наук, профессор

В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор

М.Л. Кочнева, доктор биологических наук, доцент

И.В. Моружи, доктор биологических наук, профессор

Е.В. Пищенко, доктор биологических наук, профессор

В.Г. Маренков, кандидат биологических наук, доцент

Contribution of the authors:

M.V. Strizhkova, PhD in Biological Sciences

T.V. Konovalova, senior lecturer

O.I. Korotkevich, Doctor of Biological Sciences, Professor

B.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor

M.L. Kochneva, Doctor of Biological Sciences

I.V. Moruzi, Doctor of Biological Sciences, Professor

E.V. Pishchenko, Doctor of Biological Sciences, Professor

V.G. Marenkov, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНОВ GH, TG, LEP И ЕГО ВЗАИМОСВЯЗЬ С ЖИВОЙ МАССОЙ У МОЛОДНЯКА КАЗАХСКОЙ БЕЛОГОЛОВОЙ ПОРОДЫ

Е.С. Суржикова, О.С. Веремеенко, Т.Н. Михайленко

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Ставропольский край, Михайловск, Россия

E-mail: immunogenetika@yandex.ru

Для цитирования: Суржикова Е.С., Веремеенко О.С., Михайленко Т.Н. Полиморфизм генов GH, TG, LEP и его взаимосвязь с живой массой у молодняка казахской белоголовой породы // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 270–279. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-270-279.

Ключевые слова: полиморфизм, казахская белоголовая, аллель, ген, мясная продуктивность.

Реферат. В исследованиях была проведена оценка результатов ДНК-тестирования при подборе родительских пар у молодняка крупного рогатого скота мясного направления продуктивности. В работе описана наследуемость селекционно-значимых аллелей по генам GH, TG, LEP, отвечающих за мясную продуктивность, связь наличия желательных маркерных (GH^V , TG^T , LEP^T) аллелей у молодняка крупного рогатого скота казахской белоголовой породы с живой массой. При подборе коров ($n = 20$) с комплексными генотипами ($GH^{LV}TG^{CC}LEP^{CC}$; $GH^{LL}TG^{CC}LEP^{CT}$; $GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CC}$; $GH^{LV}TG^{CC}LEP^{CT}$; $GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CC}$; $GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CT}$; $GH^{LL}TG^{TC}LEP^{TT}$; $GH^{VV}TG^{TC}LEP^{CC}$; $GH^{VV}TG^{CC}LEP^{TT}$; $GH^{VV}TG^{TC}LEP^{TT}$), несущими в себе от одной до пяти селекционно-значимых аллелей, и быков-производителей ($n = 2$) с генокомплексами ($GH^{VV}TG^{TT}LEP^{CT}$ и $GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CC}$) с пятью и двумя маркерными аллелями были сформированы родительские пары и получены потомки (F1), с различными генокомплексами. В результате проведенного генотипирования потомков (F1) было выявлено, что особи, имеющие в своем генокомплексе ($GH^{LV}TG^{TC}LEP^{TT}$; $GH^{VV}TG^{TC}LEP^{CT}$; $GH^{VV}TG^{TT}LEP^{CC}$) четыре маркерные желательные аллели по трем генам, имели большие живую массу в 205 дней (218,75 кг – бычки и 197,15 кг – телочки), чем носители одной желательной ($GH^{LL}TG^{CC}LEP^{CT}$ – телочки) аллели – 183,00 кг. Среднесуточный прирост также был различным и составил от 775,61 до 933,51 г, в зависимости от наследуемости числа селекционно-значимых аллелей по изучаемым генам.

POLYMORPHISM OF THE GH, TG, AND LEP GENES AND ITS RELATIONSHIP TO BODY WEIGHT IN YOUNG KAZAKH WHITE-HEADED CATTLE

E.S. Surzhikova, O.S. Veremeenko, T.N. Mikhailenko

North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center, Stavropol Territory, Mikhailovsk, Russia

E-mail: immunogenetika@yandex.ru

Keywords: polymorphism, Kazakh white-headed, allele, gene, meat productivity.

Abstract. The research evaluated the results of DNA testing in the selection of parental pairs in young cattle of meat production. The paper describes the heritability of breeding-significant alleles in the GH, TG, and LEP genes responsible for meat productivity, and the association of the presence of desirable marker (GH^V , TG^T , LEP^T) alleles in young Kazakh white-headed cattle with live weight. So, when selecting cows ($n = 20$) with complex ($GH^{LV}TG^{CC}LEP^{CC}$; $GH^{LL}TG^{CC}LEP^{CT}$; $GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CC}$; $GH^{LV}TG^{CC}LEP^{CT}$; $GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CC}$; $GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CT}$; $GH^{LL}TG^{TC}LEP^{TT}$; $GH^{VV}TG^{TC}LEP^{CC}$; $GH^{VV}TG^{CC}LEP^{TT}$; $GH^{VV}TG^{TC}LEP^{TT}$) with genotypes carrying from one to five selectively significant alleles, and breeding bulls ($n = 2$) with gene complexes ($GH^{VV}TG^{TT}LEP^{CT}$ and $GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CC}$) with five and two marker alleles, parental pairs were formed and offspring (F1) with different gene complexes were obtained. As a result of the genotyping of offspring (F1), it was revealed that individuals with four markers in their gene complex ($GH^{LV}TG^{TC}LEP^{TT}$; $GH^{VV}TG^{TC}LEP^{CT}$; $GH^{VV}TG^{TT}LEP^{CC}$) desirable alleles for three genes had a greater live weight at 205 days (218.75 kg for bulls and 197.15 kg for heifers) than carriers of one desirable ($GH^{LL}TG^{CC}LEP^{CT}$) allele – 183.00 kg. The average daily increase was also different and ranged from 775.61 to 933.51 grams, depending on the heritability of the number of breeding-significant alleles for the studied genes.

Мясное скотоводство России сталкивается с рядом проблем, включая низкую продуктивность. Одним из вариантов решения этой проблемы является внедрение современных технологий и развитие генетических исследований [1].

Геномная селекция имеет ряд преимуществ в исследовании продуктивности животных. В частности, в мясном скотоводстве это возможность установить генотип особи сразу же после рождения и выявить наличие генов, отвечающих за хозяйственно полезные признаки [2, 3]. Работа значительного числа генов определяет действие целого генома. Важно учитывать также predisposed отдельного животного в том, чтобы максимально проявить свой генетический потенциал под воздействием условий кормления и содержания, факторов окружающей среды [4]. Внедрение геномной селекции позволяет значительно ускорить процесс улучшения пород и повысить рентабельность производства [5, 6].

Популяция животных с благоприятным сочетанием генетических характеристик может быть расширена посредством подбора родительских пар. Основная роль в формировании генетического потенциала будущего стада принадлежит производителям: проведение тщательного отбора коров и быков и их точно установленная племенная ценность при формировании родительских пар дают большую гарантию в получении молодняка, отвечающего требованиям селекции [7, 8].

Маркер-ассоциированная селекция позволяет отбирать бычков и телок, обладающих генетическим потенциалом для производства высококачественной говядины с улучшенной мраморностью [9]. В этой связи нами были изучены гены, отвечающие за рост, метаболизм и гормональную регуляцию [10].

Ген соматотропина (*GH*), или гормона роста, выполняет центральную роль в стимуляции роста и развития тканей, включая мышечную. Вариации в гене *GH* могут влиять на скорость роста, соотношение мышечной массы к жировой, общее качество туши. Исследования направлены на выявление аллелей гена *GH*, ассоциированных с повышенной продуктивностью мясного скота [11, 12].

Ген тиреоглобулин (*TG*) кодирует белок, необходимый для синтеза гормонов щитовидной

железы. Эти гормоны регулируют скорость метаболизма, рост и развитие, а также энергетический обмен. Вариации в гене *TG* могут влиять на общее состояние здоровья животных и их способность к эффективному набору массы [13, 14].

Ген лептин (*LEP*) кодирует гормон лептин, который регулирует энергетический баланс и аппетит. Он влияет на отложение жира, метаболизм глюкозы, функционирование иммунной системы, рост и конституцию. Полиморфизмы в гене *LEP* связаны с мраморностью мяса, содержанием жира, убойным выходом, а также влияют на молочные показатели [15].

Целью исследований являлось проведение оценки результатов использования ДНК-тестирования при подборе родительских пар у молодняка крупного рогатого скота мясного направления продуктивности, а также определение связи желательных генотипов генов *GH*, *TG*, *LEP* с показателями живой массы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Молекулярно-генетические исследования проводились в лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий отдела генетики и биотехнологии ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» [16]. Объектом исследований являлся крупный рогатый скот казахской белоголовой породы ($n = 42$), разводимый в СПК им. Апанасенко, Апанасенковского района Ставропольского края. Геномная ДНК, выделенная из цельной крови с использованием набора реагентов «*DIAtomtmDNAPrep*» «Изоген» (Россия), послужила материалом для проведения генетических исследований.

ДНК-тестирование изучаемого поголовья крупного рогатого скота по трем маркерным генам (*GH*, *TG*, *LEP*) проводили методом ПЦР-ПДРФ на программируемом термоциклере «Терцик» фирмы «ДНК-ТЕХНОЛОГИЯ» (Россия) с использованием специфических олигонуклеотидов (НПЛ «Синтол», Россия) в 20 мкл реакционной смеси [17]. Для ПЦР-ПДРФ применяли наборы «GenePakPCRCore» «Изоген» (Россия) [18] (табл. 1).

Таблица 1

Условия проведения ПЦР-ПДРФ по изучаемым генам *GH*, *TG*, *LEP*
Conditions for conducting PCR-RFLP for the studied genes *GH*, *TG*, *LEP*

GH		TG		LEP	
Амплификация					
Праймеры 5'-3'	Прим.	Праймеры 5'-3'	Прим.	Праймеры 5'-3'	Прим.
For: <i>gct-gct-cct-gag-cct-tcg</i> Rew: <i>gcg-gcg-gca-ctt-cat-gac-cct</i>	223 п.н.	For: <i>ggg-gat-gac-tac-gag-tat-gac-tg</i> Rew: <i>gtg-aaa-ata-ttg-tgg-agg-ctg-ta</i>	548 п.н.	For: <i>tgg-agt-ggc-ttg-tta-ttt-tct-tct</i> Rew: <i>gtc-ccc-gct-tct-ggc-tac-cta-act</i>	424 п.н.
Рестрикция					
Alu I	37 °C 3-5 ч	BstX2 I	37 °C 3-5 ч	BstMB	37 °C 3-5 ч
Детекция					
агарозный гель 2,0 %	223, 171, 52 п.н.	агарозный гель 2,5 %	473, 295, 178, 75 п.н.	агарозный гель 2,5 %	390, 303, 88, 32 п.н.

Наличие и качество ампликонов после электрофоретического разделения продуктов реакции в агарозном геле (2–2,5 %) визуально оценивали. При расщеплении амплифицированных участков рестриктазами по генам: *GH* – Alu I (AG↓CT TC↑GA), *TG* – BstX2 I (R↓GATCY YCTAG↑R), *LEP* – BstMB (↓GATC GTAG↑) при 37 °C [19] идентифицировали следующие генотипы: *GH^{VV}*, *GH^{LV}*, *GH^{LL}*; *TG^{CC}*, *TG^{TC}*, *TG^{TT}*; *LEP^{CC}*, *LEP^{CT}*, *LEP^{TT}*.

Данные по живой массе предоставлены зоотехником СПК им. Апанасенко из акта «Бонитировка (2024)». Статистическая обработка проводилась с помощью офисного программного комплекса Microsoft Office с применением программы Excel. Для популяционно-генетической характеристики молодняка *F1* (*n* = 20) изучаемой породы определяли число эффективно действующих аллелей, степень генетической изменчивости *V*, уровни фактической *H_{OBS}* и теоретической ожидаемой гетерозиготности *H_{EX}*, уровень гомозиготности *Ca* и величину информационного полиморфизма *PIC* по приведенным ниже формулам [20, 21].

Уровень полиморфности локуса, или число эффективно действующих аллелей *Na*, является величиной, обратной степени гомозиготности:

$$Na = 1/Ca,$$

где *Na* – уровень полиморфности локуса; *Ca* – уровень гомозиготности локуса.

Уровень гомозиготности рассчитывается:

$$Ca = P(A)^2 + P(B)^2.$$

Степень генетической изменчивости популяции *V* выражают через коэффициент (по А. Робертсону):

$$V = 1 - Ca/1-1/N*100,$$

где *N* – количество животных, *Ca* – коэффициент гомозиготности.

Величина информационного полиморфизма

$$PIC = 1 - Ca.$$

Уровень фактической гетерозиготности

$$H_{OBS} = nij/(nii + nij + njj),$$

где *nij* – фактическое количество гетерозигот, *n*; *nii*, *njj* – фактическое количество гомозигот, *n*.

Математический расчет теоретически ожидаемого числа животных проводится с использованием формул:

$$Nii = Pi^2N - \text{для гомозигот},$$

$$Nij = PiPj2N - \text{для гетерозигот},$$

где *Nii*, *Nij* – теоретически ожидаемое число животных; *Pi*, *Pj* – частота *i* и *j* аллелей; *N* – общее количество животных.

Уровень теоретически ожидаемой гетерозиготности

$$H_{EX} = Nij/(Nii + Njj).$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полиморфизм генов *GH*, *TG*, *LEP*, ассоциируемых с мясной продуктивностью, установлен генотипированием крупного рогатого скота казахской белоголовой породы и представлен тремя генотипами *GH^{VV}*, *GH^{LV}*, *GH^{LL}*; *TG^{CC}*, *TG^{TC}*, *TG^{TT}* и *LEP^{TT}*, *LEP^{CT}*, *LEP^{CC}* соответственно; аллелями

GH^V и GH^L , TG^T и TG^C , LEP^T и LEP^C с разной частотой встречаемости.

Частота встречаемости желательных для селекции аллелей GH^V , TG^T и LEP^T изучаемых генов

GH , TG , LEP в группе коров ($n = 20$) казахской белоголовой породы варьировала от минимального значения 0,13 (TG^T) до максимальных 0,48 (LEP^T) и 0,60 (GH^V), что отражено на рис. 1.

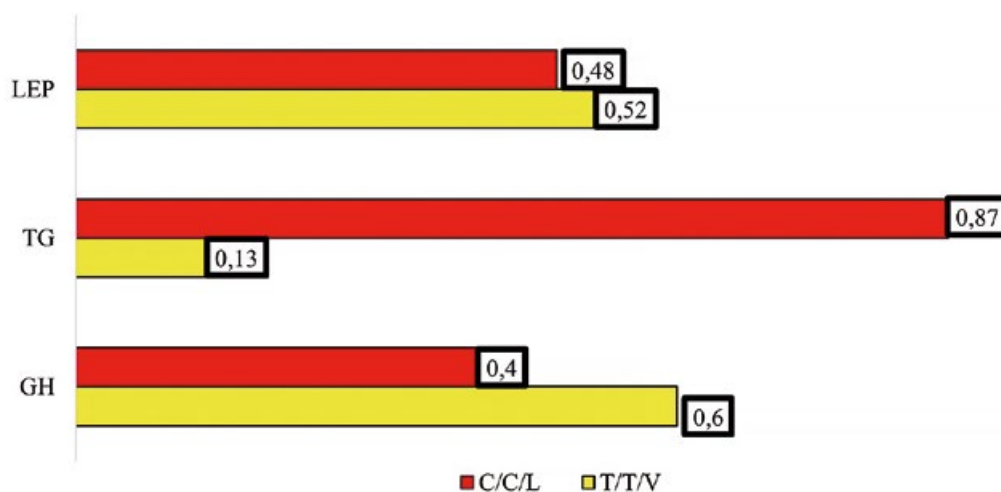


Рис. 1. Варианты частоты встречаемости аллелей у коров ($n = 20$) по генам GH , TG , LEP
Variants of allele frequency in cows ($n = 20$) for the GH , TG , LEP genes

Ряд учёных (Л.А. Танана, Т.А. Sedykh, 2016) выявили связь между генотипами гормона роста и характеристиками мясной продуктивности у мясного скота. В частности, отмечено, что герефордская порода с генотипом GH^{VV} демонстрировала превосходство по массе туши на 5–10 кг по сравнению с животными, имеющими другие генотипы [22].

В наших исследованиях выявлено, что частота встречаемости желательных генотипов

изучаемых генов GH , TG , LEP составила: GH^{VV} – 45,0 и GH^{LV} – 30,0 %; TG^{TT} – полное отсутствие и TG^{TC} – 25,0 %; LEP^{TT} – 25,0 и LEP^{CT} – 45,0 %. Число эффективно действующих аллелей по изучаемым генам GH , TG , LEP варьировало от 1,28 до 1,99. Концентрация желательных аллелей в выборке коров казахской белоголовой породы составила: для GH – 0,75, LEP – 0,7, а для TG всего лишь 0,25 (рис. 2).

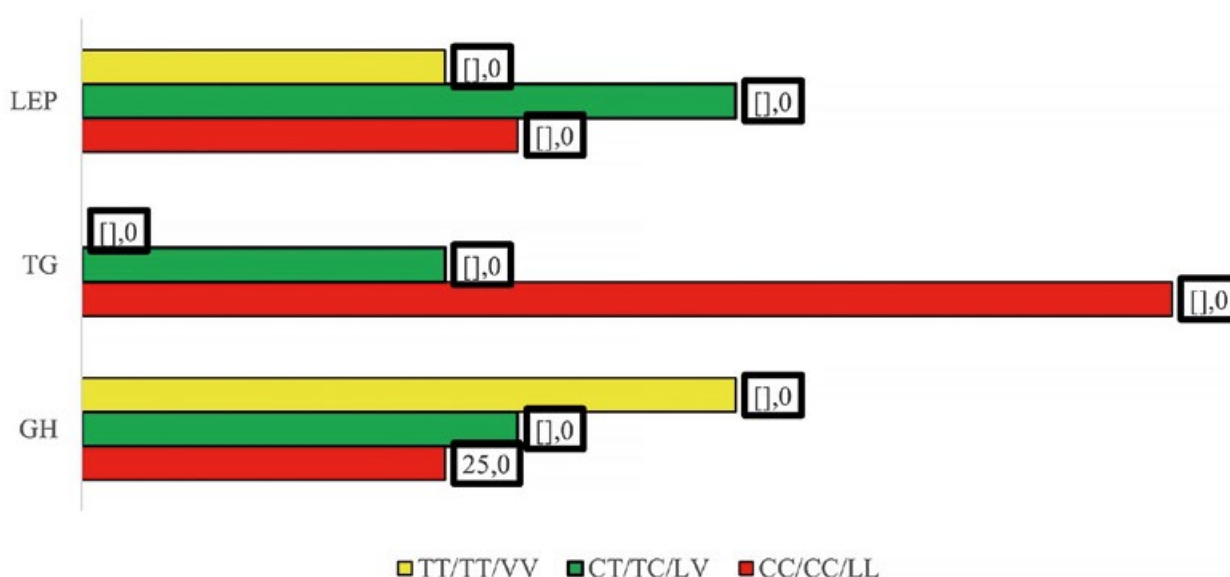


Рис. 2. Варианты частоты встречаемости генотипов у коров ($n = 20$) по генам GH , TG , LEP
Frequency variants of genotypes in cows ($n = 20$) for the GH , TG , LEP genes

По результатам генетико-статистического анализа в исследуемой выборке коров определены варианты комплексных генотипов по изучаемым генам. Доля коров-носителей комплексных генотипов изучаемой породы, включающих пять ($GH^{VV}TG^{TC}LEP^{TT}$) и четыре ($GH^{VV}TG^{CC}LEP^{TT}$) желательные маркерные аллели

трех генов, составила 15,0 % у трех животных, трех желательных ($GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CT}$; $GH^{LL}TG^{TC}LEP^{TT}$; $GH^{VV}TG^{TC}LEP^{CC}$) – 30,0 % у шести животных и двух ($GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CC}$; $GH^{LV}TG^{CC}LEP^{CT}$; $GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CC}$) аллелей – 30,0 % у шести животных, а с одной ($GH^{LV}TG^{CC}LEP^{CC}$; $GH^{LL}TG^{CC}LEP^{CT}$) составила 25,0 % – пять животных (рис. 3).

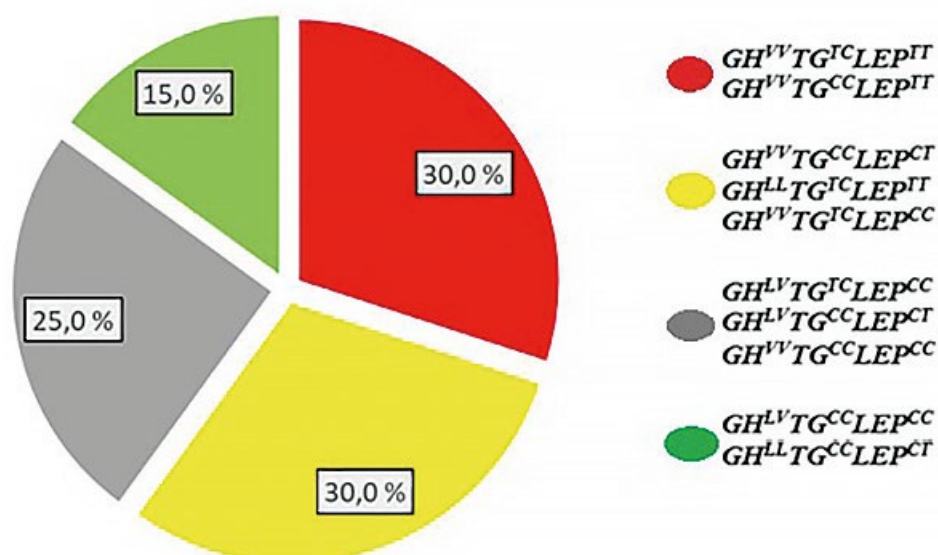


Рис. 3. Доля коров казахской белоголовой породы – носителей комплексных генотипов по генам *GH*, *TG*, *LEP*
The proportion of Kazakh White-Headed cows that are carriers of complex genotypes for the *GH*, *TG*, and *LEP* genes

Для получения высокопродуктивного потомства были сформированы две группы животных для подбора родительских пар. Так, в каждую группу было отобрано по 10 голов коров и по одному быку-производителю, имеющих в своем генокомплексе селекционно-значимые аллели. В первую группу входили коровы ($n = 10$), имеющие варианты генокомплексов, состоящих из одной-трех желательных маркерных аллелей ($GH^{LV}TG^{CC}LEP^{CC}$; $GH^{LL}TG^{CC}LEP^{CT}$; $GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CC}$; $GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CC}$; $GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CT}$; $GH^{VV}TG^{TC}LEP^{CC}$) и скрещивали их с быком-производителем, носителем генокомплекса ($GH^{VV}TG^{TT}LEP^{CT}$), включающего пять маркерных аллелей в трех генах. Вторая группа состояла из коров ($n = 10$), имеющих комплексные варианты генотипов ($GH^{LL}TG^{CC}LEP^{CT}$; $GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CC}$; $GH^{VV}TG^{TC}LEP^{CC}$; $GH^{LV}TG^{CC}LEP^{TT}$; $GH^{LL}TG^{TC}LEP^{TT}$; $GH^{VV}TG^{CC}LEP^{TT}$; $GH^{VV}TG^{TC}LEP^{TT}$), которые включали одну-пять маркерных аллелей, а у быка-производителя был генокомплекс ($GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CC}$).

Анализом полученных результатов в популяции молодняка $F1$ ($n = 20$) казахской белоголовой породы по изучению полиморфизма было выявлено присутствие желательных аллелей в генах *GH*, *TG*, *LEP*. Так, частота встречаемости желательного аллеля GH^V гена гормона роста была высокой и составила 0,78 в исследуемой выборке животных. Это обеспечило присутствие гомозиготного варианта GH^{VV} (60,0 %) и гетерозиготного GH^{LV} (35,0 %) генотипов. Присутствие аллелей TG^T и TG^C (0,43 и 0,57 соответственно) гена тиреоглобулина обеспечило лишь 5,0 % животных с гомозиготным TG^{TT} генотипом, а 75,0 % оказались особи с гетерозиготным вариантом TG^{TC} генотипа. Гомозиготный TG^{CC} генотип в исследуемой группе животных составил 20,0 %. В локусе гена лептина частота встречаемости аллелей LEP^T и LEP^C (0,48 и 0,52) обеспечила присутствие гомозиготных вариантов LEP^{TT} и LEP^{CC} генотипов 10,0 и 15,0 %, с гетерозиготным LEP^{CT} – 75,0 % (рис. 4).

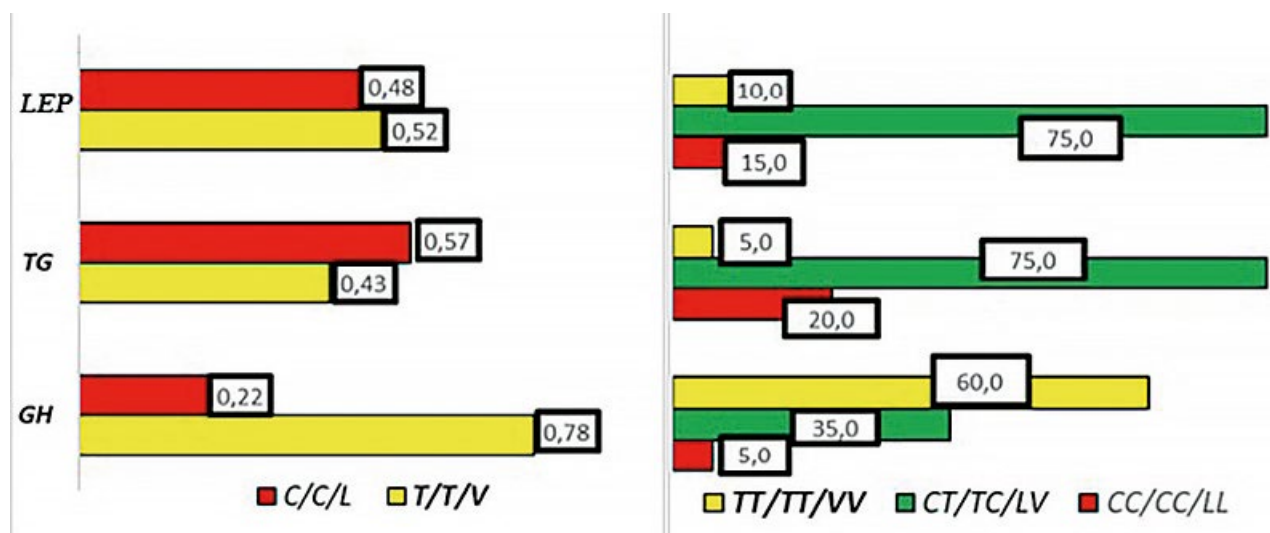


Рис. 4. Варианты частоты встречаемости аллелей и генотипов у молодняка F1 ($n = 20$) по генам GH, TG, LEP
Frequency variants of alleles and genotypes in F1 young animals ($n = 20$) for the GH, TG, LEP genes

А.А. Сафронова (2024) методом ПЦР-ПДРФ выявляла полиморфизм генов гормона роста GH L127V и тиреоглобулина TG5 C422T, а также у подопытных животных определяли убойные показатели, химический, жирнокислотный и аминокислотный составы мяса. Значительное влияние полиморфизма GH L127V отмечалось на массу туши ($P \leq 0,05$) и аминокислотный состав мяса. Полиморфизм TG5 C422T оказывал значительное ($P \leq 0,05$) влияние на дифференциацию бычков по соотношению полиненасыщенных и насыщенных жирных кислот. Автор сообщает, что генетическая изменчивость бычков по генам гормона роста и тиреоглобулина может быть использована для улучшения как количественных, так и качественных показателей мясной продуктивности герефордского скота при маркер-зависимой селекции [23].

Полученная информация о вариантах частоты аллелей и генотипов в выборке молодняка F1 казахской белоголовой породы по генам GH, TG, LEP послужила основанием для проведения генетико-статистического анализа. Выявить и описать генетическое разнообразие исследуемой выборки позволил проведенный нами анализ, что дало ценную информацию о ее генетической структуре. Для диплоидных особей самой распространенной мерой генетической изменчивости является гетерозиготность H . Так, по генам GH, TG, LEP значение наблюдаемой гетерозиготности H_{OBS} составило 0,35; 0,75 и 0,75 соответственно. Ожидаемая гетерозиготность H_{EX} в этих генах соответствовала значениям: 0,538; 0,955 и 0,995, что говорит о достаточном количестве гетерозигот. Для оценки генетического разнообразия использу-

ют такие критерии, как уровень полиморфности, степень гомозиготности. Степень гомозиготности (Ca , %) в проведенных исследованиях характеризовалась средней величиной 50,13–51,13 % по генам LEP и TG и немного высокой 65,13 % – GH. Наиболее высокий показатель уровня полиморфности выявлен в генах TG (1,95) и LEP (1,99), среднее его значение определено по гену GH (1,53). Концентрация желательного аллеля по изучаемым генам составила: GH^V – 0,95; TG^T – 0,80, LEP^T – 0,85. Степень генетической изменчивости V , которая зависит от степени гомозиготности и количества исследуемых особей, была в диапазоне от 29,88 (GH) до 44,88 % (LEP).

Способность генетического маркера устанавливать распределение частоты встречаемости аллелей, полиморфизм популяции в зависимости от их числа, определяется величиной информационного полиморфизма PIC [24]. Так, в гене GH величина информационного полиморфизма обладала средней полиморфностью, составив 0,349, а для генов TG и LEP была немного повышенной, 0,489 и 0,499 соответственно.

Н.П. Герасимов с соавторами (2020) исследовал оценку взаимосвязи убойных качеств животных крупного рогатого скота абердин-ангусской породы с наличием полиморфизмов LEP 528C/T и LEP 73C/T. После генотипирования коров и телок абердин-ангусской породы группировали в соответствии с генотипами. В результате исследований выявили, что гетерозиготные генотипы телок при нуклеотидных заменах в разных регионах отличались повышенным уровнем мясной продуктивности. Они превосходили сверстниц на 16,3–30,4 кг (3,01–5,76 %; $P \geq 0,05$) и 9,1–14,2 кг

(1,67–2,63 %; $P \geq 0,05$) по предубойной массе, а по массе туши – на 8,3–9,8 кг (2,64–3,14 %; $P \geq 0,05$) и 2,4–2,7 кг (0,76–0,85 %; $P \geq 0,05$) соответственно при полиморфизме LEP 528C/T и LEP 73C/T. В свою очередь, желательная мутация в гомозиготной форме TT при полиморфизме LEP 528C/T у коров способствовала максимальной выраженности живой массы, массы и выхода туши у их носителей [25].

Генетико-статистическими методами анализа установлено, что среди полученного молодняка F1 (как у бычков, так и у телочек), имеющего

желательный комплексный ($GH^{VV}TG^{TT}LEP^{CC}$; $GH^{VV}TG^{TC}LEP^{CT}$; $GH^{LV}TG^{TC}LEP^{TT}$) генотип, включающий четыре маркерных аллелей трех генов, доля животных составила 60,0 % (12 особей). У четырех животных (20,0 %) выявлены комбинации из трех желательных ($GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CT}$; $GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CT}$) аллелей, из двух ($GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CC}$; $GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CC}$; $GH^{LV}TG^{CC}LEP^{CT}$) маркерных аллелей у трех животных (15,0 %), а у одного животного (5,0 %) одна аллель ($GH^{LL}TG^{CC}LEP^{CT}$) трех генов (рис. 5).

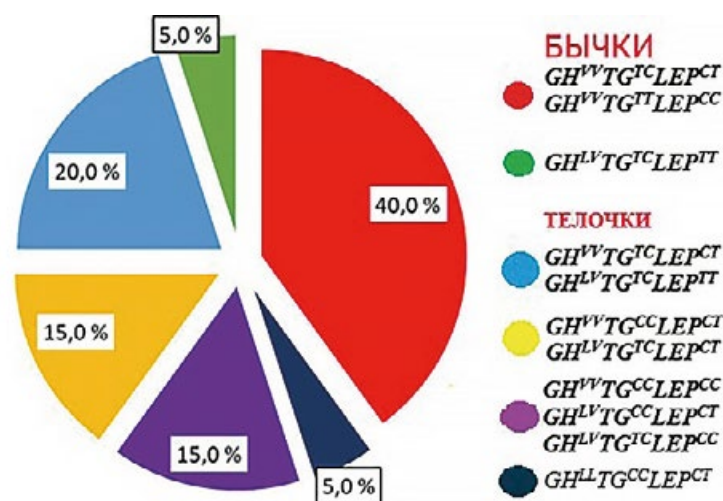


Рис. 5. Доля полученного молодняка F1, носителей комплексных генотипов по генам GH, TG, LEP

The proportion of F1 offspring obtained, carriers of complex genotypes for the GH, TG, LEP genes

Оценка мясной продуктивности (живая масса при рождении, за 205 дней и среднесуточный прирост) у полученного молодняка F1 (бычки и телочки) казахской белоголовой породы проводилась в зависимости от комплексных генотипов генов GH, TG, LEP. Так, живая масса за 205 дней у бычков ($n = 9$) исследуемой породы с разными генокомплексными ($GH^{VV}TG^{TC}LEP^{CT}$; $GH^{VV}TG^{TT}LEP^{CC}$; $GH^{LV}TG^{TC}LEP^{TT}$) и ($GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CT}$; $GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CT}$) составила в среднем 217,4 кг, а среднесу-

точный прирост – 927,90 г. У телочек ($n = 7$) этой же породы с генокомплексными ($GH^{LV}TG^{TC}LEP^{TT}$; $GH^{VV}TG^{TC}LEP^{CT}$) и ($GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CT}$; $GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CT}$) показатель живой массы в среднем равнялся 195,10 кг, при среднесуточном приросте 827,36 г. А у трех телочек с генокомплексными ($GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CC}$; $GH^{LV}TG^{CC}LEP^{CT}$; $GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CC}$) составила в среднем 184,50 кг и среднесуточный прирост – 781,22 г (табл. 2).

Таблица 2

Живая масса у молодняка F1 в зависимости от комплексных генотипов генов GH, TG, LEP ($n = 20$)
Live weight of F1 young animals depending on the complex genotypes of the GH, TG, LEP genes ($n = 20$)

Варианты комплексных генотипов	n	Показатель		
		Живая масса		Среднесуточный прирост, г
		при рождении	205 дней	
1	2	3	4	5
Бычки ($n = 9$)				
$GH^{VV}TG^{TC}LEP^{CT}$	7	27,38±0,15	218,75±1,57	933,51
$GH^{VV}TG^{TT}LEP^{CC}$	1			

1	2	3	4	5
$GH^{LV}TG^{TC}LEP^{TT}$	1	26,00	207,00	882,93
Телочки ($n = 11$)				
$GH^{VV}TG^{TC}LEP^{CT}$	2	$25,75 \pm 0,32$	$197,15 \pm 1,89$	836,10
$GH^{LV}TG^{TC}LEP^{TT}$	2			
$GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CT}$	2	$25,16 \pm 0,49$	$192,37 \pm 2,79$	815,66
$GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CT}$	1			
$GH^{VV}TG^{CC}LEP^{CC}$	3	$24,33 \pm 0,63$	$184,45 \pm 2,35$	781,22
$GH^{LV}TG^{CC}LEP^{CT}$				
$GH^{LV}TG^{TC}LEP^{CC}$				
$GH^{LL}TG^{CC}LEP^{CT}$	1	24,00	183,00	775,61

ВЫВОДЫ

1. В ходе проведенных нами исследований получены сведения об эффективности подбора родительских пар на основе анализа их ДНК-генотипирования. Полученное потомство характеризовалось повышенным продуктивным потенциалом.

2. В результате проведенного генотипирования потомков F_1 было выявлено, что особи, имеющие в своем генокомплексе четыре желательные маркерные ($GH^{LV}TG^{TC}LEP^{TT}$; $GH^{VV}TG^{TC}LEP^{CT}$; $GH^{VV}TG^{TT}LEP^{CC}$) аллели по трем генам имели большую живую массу в 205 дней ($218,75$ кг – бычки и $197,15$ кг – телочки), чем носители одной

желательной ($GH^{LL}TG^{CC}LEP^{CT}$ –телочки) аллели – $183,00$ кг.

3. Среднесуточный прирост был различным и варьировался от $775,61$ до $933,51$ г в зависимости от наследуемости числа селекционно-значимых аллелей по изучаемым генам.

4. В результате проведенных исследований выявлена связь наследуемости желательных генотипов по генам GH , TG , LEP с показателями живой массы у полученного потомства. Для получения более точных результатов рекомендуется проведение аналогичных исследований на большей выборке молодняка крупного рогатого скота казахской белоголовой породы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глазко В.И., Косовский Г.Ю., Глазко Т.Т. Поколения молекулярно-генетических маркеров в решении задач геномной селекции // Вестник Российской академии естественных наук. – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 66–70.
2. Молекулярно-генетические маркеры в селекционной работе разными видами сельскохозяйственных животных / М.И. Селионова, Е.А. Гладырь, Т.И. Антоненко [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. – 2012. – № 2 (6). – С. 30–35.
3. Племяшов К. Геномная селекция – будущее животноводства // Животноводство России. – 2014. – № 5. – С. 2–4.
4. Подход к оценке генетического разнообразия с.-х. животных / Ю.А. Колосов, Д.Д. Чертков, Н.В. Широкова [и др.] // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4-1 (22). – С. 14–22.
5. Перспективные генетические маркеры крупного рогатого скота / М.И. Селионова, Л.Н. Чиждова, Г.Т. Бобрышова [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – № 3 (31). – С. 44–51.
6. Шевелева О.М., Свяженина М.А., Часовицкова М.А. Селекционно-генетические параметры отбора коров по молочной продуктивности при совершенствовании стада крупного рогатого скота // Вестник Курганской ГСХА. – 2023. – № 1 (45). – С. 60–68.
7. Система комплексной оценки селекционной перспективности племенных стад и их генетического благополучия на основе ДНК-диагностики / Л.Н. Чиждова, Г.Т. Бобрышова, Е.С. Суржилова [и др.]. – Ставрополь, – 2020. – 92 с.
8. Молекулярно-генетические аспекты селекции мясного скота по мраморности мяса / А.А. Шарипов, Ш.К. Шакиров, Ю.Р. Юльметьева Л.И. Гафурова // Вестник мясного скотоводства. – 2014. – № 2 (85). – С. 59–64.
9. Оценка быков-производителей с разными генотипами генов соматотропинового каскада по молочной продуктивности и качеству молока ближайших женских предков / Л.Р. Загидуллин, И.Ю. Гилемханов, Р.У. Зарипов [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Баумана. – 2020. – Т. 244 (4). – С. 86–91.

10. *Маркер-ассоциированная и геномная селекция мясного скота* / М.И. Селионова, Л.В. Евстафьева, Е.Н. Коновалова, Е.Н. Белая // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 2. – С. 37–48. – DOI: 10.26897/2949-4710-2023-2-37-48.
11. *Polymorphisms of CAPN1, CAST, GDF5, TG5 and GH genes in Russian Hereford cattle* / K. Dzhulamanov, N. Gerasimov, M. Dubovskova, A. Baktygalieva // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2019. – Vol. 25 (2). – P. 375–379.
12. *Аллельный спектр генов соматотропинового каскада у молодняка крупного рогатого скота мясного направления продуктивности* / З.К. Гаджиев, Е.С. Суржикова, Д.Д. Евлагина [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37, № 5. – С. 80–84. – DOI: 10.53859/02352451_2023_37_5_80.
13. *Каюмов Ф.Г., Третьякова Р.Ф., Третьякова Н.А. Качественные и количественные показатели мясной продуктивности бычков разных генотипов по генам CAPN1 и TG5* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2 (88). – С. 242–245. – DOI: 10.37670/2073-0853-2021-88-2-242-245.
14. *Макаев Ш.А., Герасимов Н.П. Влияние генотипа быков-отцов казахской белоголовой породы по генам CAPN1, CAST и TG5 на качественные показатели мяса у потомков* // Животноводство и кормопроизводство. – 2020. – Т. 103, № 3. – С. 102–113. – DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-102.
15. *Суржикова Е.С., Дубовскова М.П., Герасимов Н.П. Полиморфизм генов CAPN1(с.316C>G), TG5(с.422C>T), GH (с.2141C>G), LEP(с.73C>T) у молодняка мясного скота герефордской породы ставропольской популяции* // Животноводство и кормопроизводство. – 2021. – Т. 104, № 4. – С. 67–78.
16. *Онищенко О.Н., Чернобай Е.Н., Суржикова Е.С. Генетический полиморфизм генов GH, GDF9 у овец породы российский мясной меринос* // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2023. – № 2. – С. 14–17. – DOI: 10.26897/2074-0840-2023-2-14-17.
17. *Полиморфизм генов CAST, GH, GDF9 овец дагестанской горной породы* / А.А. Оздемиров, Л.Н. Чинова, А.А. Хожиков [и др.] // Юг России: экология, развитие. – 2021. – Т. 16, № 2 (59). – С. 39–44. – DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-39-44.
18. *Межпородные особенности полиморфизма генов соматотропин, пролактин у коров молочного направления продуктивности* / Л.Н. Чинова, Е.С. Суржикова, Г.П. Ковалева, Т.Н. Михайленко // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2017. – Т. 2, № 10. – С. 108–113.
19. *ДНК-тестирование аллельного полиморфизма генов IGF-1, GDF5, GH, у молодняка мясного скота* / З.К. Гаджиев, Е.С. Суржикова, Д.Д. Евлагина [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 9. – С. 82–87. – DOI: 10.28983/asj.y2023i9pp82-87.
20. *Изучение и проведение ДНК-тестирования сельскохозяйственных животных по генам, определяющим продуктивные качества: методические рекомендации* / З.К. Гаджиев, Е.С. Суржикова, Т.Н. Михайленко, Д.Д. Евлагина. – Ставрополь, 2022. – 78 с.
21. *Ольховская Л.В., Абонеев В.В. Биохимический полиморфизм в селекции коз* / Российская акад. с.-х. наук, Гос. науч. учреждение Ставропольский науч.-исслед. ин-т животноводства и кормопроизводства. – Ставрополь, 2007. – С. 43–52.
22. *Использование ДНК-тестирования по маркерным генам в селекции крупного рогатого скота СКФО: монография* / З.К. Гаджиев, Е.С. Суржикова, Д.Д. Евлагина [и др.]. – Ставрополь, 2025. – 190 с.
23. *Сафронова А.А. Формирование мясной продуктивности и качества мяса у герефордских бычков разных генотипов* // Животноводство и кормопроизводство. – 2024. – Т. 107, № 2. – С. 61–70. – DOI: 10.33284/2658-3135-107-2-61.
24. *Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphism* / D. Botstein, R.L. White, M.H. Skalnick, R.W. Davies // Am. J. Hum. Genet. – 1980. – № 32. – P. 314–331.
25. *Оценка взаимосвязи послеубойных качеств животных крупного рогатого скота с наличием полиморфизмов LEP 528C/T и LEP 73C/T* / Н.П. Герасимов, В.И. Колпаков, Д.Б. Косян [и др.] // Животноводство и кормопроизводство. – 2020. – Т. 103, № 3. – С. 114–126. – DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-114. – EDN YBCNEG.

REFERENCES

1. Glazko V.I., Kosovskii G.Yu., Glazko T.T., *Vestnik RAEN*, 2017, No. 17 (2), pp. 66–70. (In Russ.)
2. Selionova M.I., Gladyr' E.A., et al., *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2012, No. 2 (6), pp. 30–35. (In Russ.)
3. Plemyshev K., *Zhivotnovodstvo Rossii*, 2014, No. 5, pp. 2–4. (In Russ.)
4. Kolosov Yu.A., Chertkov D.D., Shirokova N.V., Bakoev N.F., Romanets T.S., Romanets E.A., Mikhtodzhova Sh.D., *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, No. 4–1 (22), pp. 14–22. (In Russ.)
5. Selionova M.I., Chizhova L.N., Bobryshova G.T., Surzhikova E.S., Mikhailenko A.K., *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2018, No. 3 (31), pp. 44–51. (In Russ.)
6. Sheveleva O.M., Svyazhenina M.A., Chasovshchikova M.A., *Vestnik Kurganskoi GSKhA*, 2023 No. 1 (45), pp. 60–68. (In Russ.)

7. Chizhova L.N., Bobryshova G.T., Surzhikova E.S., Efimova N.I., Mikhailenko T.N. et al, *Sistema kompleksnoi otsenki selektsionnoi perspektivnosti plemennykh stad i ikh geneticheskogo blagopoluchiya na osnove DNK-diagnostics* (A system for comprehensive assessment of the breeding potential of breeding herds and their genetic well-being based on DNA diagnostics), Stavropol', 2020, pp. 92. (In Russ.)
8. Sharipov A.A., Shakirov Sh.K., Yul'met'eva Yu.R., Gafurova L.I., *Vestnik myasnogo skotovodstva*, 2014, No. 2 (85), pp. 59–64. (In Russ.)
9. Zagidullin L.R., Gilemkanov I.Yu., Zaripov R.U. [et al.], *Uchenye zapiski Kazanskoi GAVM*, 2020, No. 244 (4). pp. 86–91. (In Russ.)
10. Selionova M.I., Evstaf'eva L.V., Konovalova E.N., Belaya E.N., *Timiryazevskii biologicheskii zhurnal*, 2023, No. 2, pp. 37–48. (In Russ.)
11. Dzhulamanov K., Gerasimov N., Dubovskova M., Baktygalieva A., Polymorphisms of CAPN1, CAST, GDF5, TG5 and GH genes in Russian Hereford cattle, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2019, Vol. 25 (2), pp. 375–379.
12. Gadzhiev Z.K., Surzhikova E.S., Evlagina D.D. [et al.], *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2023, No. 37 (5), pp. 80–84. (In Russ.)
13. Kayumov F.G., Tret'yakova R.F., Tret'yakova N.A., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 2 (88), pp. 242–245. (In Russ.)
14. Makaev Sh. A., Gerasimov N.P., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2020, No. 103 (3), pp. 102–113. (In Russ.)
15. Surzhikova E.S., Dubovskova M.P., Gerasimov N.P., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2021, No. 104 (4), pp. 67–78. (In Russ.)
16. Onishchenko O.N., Chernobai E.N., Surzhikova E.S., *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo*, 2023, No. 2, pp. 14–17. (In Russ.)
17. Ozdemirov A.A., Chizhova L.N., Khozhokov A.A. [et al.], *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*, 2021, No. 2 (59), pp. 39–44. (In Russ.)
18. Chizhova L.N., Surzhikova E.S., Kovaleva G.P., Mikhailenko T.N., *Sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovtsevodstva i kozovodstva*, 2017, No. 2 (10), pp. 108–113. (In Russ.)
19. Gadzhiev Z.K., Surzhikova E.S., Evlagina D.D. [et al.], *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 2023, No. 9, No. 82–87. (In Russ.)
20. Gadzhiev Z.K., Surzhikova E.S., Mikhailenko T.N., Evlagina D.D., *Izuchenie i provedenie DNK-testirovaniya sel'skookhozyajstvennykh zhivotnykh po genam, opredelyayushchim produktivnye kachestva* (Study and DNA testing of farm animals for genes that determine productive qualities), Stavropol', 2022, pp. 78.
21. Olkhovskaya L.V., Aboneev V.V., *Biohimicheskij polimorfizm v selekcii koz* (Biochemical polymorphism in goat breeding), Stavropol, 2007, pp. 43–52.
22. Gadzhiev Z.K., Surzhikova E.S., Evlagina D.D. [et al.], *Ispol'zovanie DNK-testirovaniya po markernym genam v selekcii krupnogo rogatogo skota SKFO* (Use of DNA testing for marker genes in cattle breeding in the North Caucasus Federal District), Stavropol, 2025. 190 p.
23. Safronova A.A., *Animal Husbandry and Feed Production*, 2024, Vol. 107, No. 2, pp. 61–70, DOI: 10.33284/2658-3135-107-2-61. (In Russ.)
24. Botstein D., White R.L., Skalnicky M.H., Davies R.W., Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphism, *Am. J. Hum. Genet.*, 1980, No. 32, pp. 314–331.
25. Gerasimov N.P., Kolpakov V.I., Kosyan D.B. [et al.], *Animal husbandry and feed production*, 2020, Vol. 103, No. 3, pp. 114–126, DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-114, EDN YBCNEG. (In Russ.)

Информация об авторах:

Е.С. Суржикова, кандидат сельскохозяйственных наук

О.С. Веремеенко, научный сотрудник

Т.Н. Михайленко, научный сотрудник

Contribution of the authors:

E.S. Surzhikova, Candidate of Agricultural Sciences

O.S. Veremeenko, researcher

T.N. Mikhailenko, researcher

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

АССОЦИАЦИЯ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЛКОВОГО, ЛИПИДНОГО И МИНЕРАЛЬНОГО ОБМЕНОВ С ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ ОВЕЦ РОМАНОВСКОЙ ПОРОДЫ

Е.И. Тарасенко, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, И.В. Морузи, В.Г. Маренков, Е.В. Пищенко, А.И. Желтиков

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: tarasenkoo1997@mail.ru

Для цитирования: Ассоциация некоторых показателей белкового, липидного и минерального обменов с тяжелыми металлами в органах и тканях овец романовской породы / Е.И. Тарасенко, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, И.В. Морузи, В.Г. Маренков, Е.В. Пищенко, А.И. Желтиков // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 280–288. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-280-288.

Ключевые слова: белковый, липидный и минеральный обмены, тяжелые металлы, сыворотка крови, органы и ткани, овцы, романовская порода.

Реферат. Разработка неинвазивных методов оценки токсической нагрузки и понимание механизмов влияния химических элементов на метаболизм являются актуальными задачами ветеринарной и зоотехнической наук. Целью данного исследования было изучение связей между элементным составом органов и тканей и ключевыми биохимическими маркерами белкового, липидного и минерального обмена у овец романовской породы в условиях Западной Сибири. Исследование проведено на клинически здоровых баранах ($n = 24-25$) романовской породы. Проведен корреляционный анализ с использованием метода Спирмена и Пирсона. Установлен ряд статистически значимых корреляций, раскрывающих механизмы влияния элементного статуса на интерьерные показатели. В рамках белкового обмена выявлены отрицательные корреляции между альбумином и медью в мышцах ($r = -0,492$), а также мочевиной и мышьяком в волосах ($r = -0,421$), что может свидетельствовать о подавлении синтетической функции печени. Положительная связь мочевины со свинцом в мышцах ($r = 0,425$) указывает на усиление катаболизма. В липидном обмене отмечена высокая положительная связь ЛПВП со свинцом в крови ($r = 0,612$), что, вероятно, является компенсаторным ответом на оксидативный стресс. Положительная корреляция холестерина с цинком в печени ($r = 0,473$) подчеркивает роль цинка как кофактора в его синтезе. В минеральном обмене накопление меди и цинка в миокарде было ассоциировано с нарушением баланса K/Na, что, видимо, указывает на ингибирование ионных насосов. Уровень хлора и магния в сыворотке крови отрицательно коррелировал с депонированием кадмия и цинка в мышечной ткани (соответственно $r = -0,451$ и $r = -0,426$). Полученные данные могут быть использованы для разработки систем ранней диагностики и мониторинга состояния здоровья овец в условиях техногенного загрязнения.

ASSOCIATION OF SOME INDICATORS OF PROTEIN, LIPID AND MINERAL METABOLISM WITH HEAVY METALS IN ORGANS AND TISSUES OF ROMANOV SHEEP

E.I. Tarasenko, T.V. Konovalova, O.S. Korotkevich, V.L. Petukhov, I.V. Moruzi, V.G. Marenkov, E.V. Pishchenko, A.I. Zheltikov

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: tarasenkoo1997@mail.ru

Keywords: protein, lipid, and mineral metabolism, heavy metals, blood serum, organs and tissues, sheep, Romanov breed.

Abstract. The development of non-invasive methods for assessing toxic load and understanding the mechanisms by which chemical elements influence metabolism are pressing issues in veterinary and zootechnical sciences. The aim of this study was to investigate the relationships between the elemental composition of organs and tissues and key biochemical markers of protein, lipid, and mineral metabolism in Romanov sheep in Western Siberia. The research was conducted on clinically healthy Romanov rams ($n = 24-25$). A correlation analysis was performed using the Spearman-Pearson method. A number of statistically significant correlations were established, revealing

the mechanisms by which elemental status influences interior parameters. In terms of protein metabolism, negative correlations were found between albumin and copper in muscles ($r = -0.492$), as well as urea and arsenic in hair ($r = -0.421$), which may indicate suppression of the synthetic function of the liver. A positive correlation between urea and lead in muscles ($r = 0.425$) indicates increased catabolism. In lipid metabolism, a high positive correlation was observed between HDL and blood lead ($r = 0.612$), likely representing a compensatory response to oxidative stress. A positive correlation between cholesterol and zinc in the liver ($r = 0.473$) emphasizes the role of zinc as a cofactor in its synthesis. In mineral metabolism, copper and zinc accumulation in the myocardium was associated with a K/Na imbalance, likely indicating inhibition of ion pumps. Serum chlorine and magnesium levels were negatively correlated with cadmium and zinc deposition in muscle tissue ($r = -0.451$ and $r = -0.426$, respectively). The data obtained can be used to develop early diagnostic and health monitoring systems for sheep exposed to anthropogenic pollution.

Проблема производства экологически безопасной и биологически полноценной продукции животноводства в условиях техногенного загрязнения агроэкосистем является одной из актуальных [1–3]. Она непосредственно связана с качеством питания и средой обитания человека, поэтому самым тесным образом объединяет вопросы экологии, ветеринарии и здравоохранения. В условиях нарастающего техногенного загрязнения окружающей среды экотоксикантами все более актуальной становится проблема их поступления в организм и влияния на биологические процессы [4–6].

Различные антропогенные факторы (в основном ксенобиотики, токсичные вещества и пр.) оказывают влияние практически на весь организм человека и животных, причем чаще всего это влияние является отрицательным [2]. В результате такого действия происходят существенные сдвиги в функциях отдельных систем организма, проявляющиеся появлением атипичического течения заболеваний, появления новых нозологических форм [7].

Скорость всасывания соединений тяжелых металлов зависит от биологических особенностей органов пищеварения, физико-химических свойств всасываемых веществ и т.д. Белки различных тканей в организме животного находятся в тесной связи между собой. В результате изменений обменных, физико-химических процессов в организме они быстро реагируют на данные процессы, поэтому белковый состав сыворотки крови отражает общее состояние организма и свидетельствует о той или иной патологии. Исследование концентрации белков в сыворотке крови широко используются в диагностических целях. Одной из причин гипопроотеинемии является нарушение его образования при недостаточности функции печени, которая возникает при различных токсических повреждениях, в том числе и тяжелыми металлами. Концентрация общего белка в сыворотке крови зависит, главным образом,

от синтеза и распада двух основных белковых фракций – альбуминов и глобулинов [4, 8, 9].

Для большинства регионов Западной Сибири данные по загрязненности токсичными металлами продукции отсутствуют, хотя они необходимы для мониторинга качества окружающей среды, оценки степени негативного воздействия химических факторов на популяции хозяйственно важных видов животных, обеспечения продовольственной безопасности страны и совершенствования санитарно-гигиенических норм и правил [10, 11].

В связи с этим любые сведения о химическом составе органов и тканей овец представляют научный интерес и новизну. При комплексной оценке фенофона пород сельскохозяйственных животных большое значение придается изучению белкового, липидного, углеводного и минерального обменов [1, 12, 13].

Цель исследований – изучение связи параметров белкового, липидного и минерального обменов с уровнем некоторых тяжелых металлов в органах и тканях овец романовской породы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование выполнялось на баранах романовской породы в возрасте 4 мес., разводимых на территории Кузбасса. В зоне их районирования проводится постоянный мониторинг почвы, воды и кормов [11]. Показано, что содержание тяжелых металлов не превышало ПДК. В качестве материала исследований использовалась кровь, образцы крови у овец брали утром перед кормлением. Животные на момент взятия проб были клинически здоровы.

В органах и тканях (мышцы, волос, печень, почки, сердце) изучены корреляции Cu, As, Pb, Zn, Cd с уровнем биохимических показателей сыворотки крови.

Биохимические показатели сыворотки крови (мочевина, холестерин, липопротеиды высокой плотности, альбумины, мочевая кислота, липаза)

определялись на биохимическом полуавтоматическом анализаторе Photometer 5010V5+ (ROBERT RIELE GmbH&CoKG, Германия). Концентрацию биохимических показателей установили с использованием реактивов фирмы ЗАО «Вектор-Бест».

Концентрацию магния (Mg), калия (K), натрия (Na), хлора (Cl) в сыворотке крови определяли с использованием наборов реактивов фирмы АО «Вектор-Бест». Концентрацию натрия определили при помощи набора «Натрий-Ольвекс», фирмы АО «Вектор-Бест». Макро- и микроэлементы сыворотки крови определялись фотометрически на биохимическом полуавтоматическом анализаторе Photometer 5010 V5+ (Robert Riele GmbH & Co. KG, Германия).

Изучение элементного состава паренхиматозных органов проводилось на базе аналитического центра коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С.Соболева Сибирского отделения Российской академии наук методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной и электротермической атомизацией на спектрометре SOLAAR M6 (США) согласно ГОСТ 26929–94 [14, 15].

В ходе исследования был проведен корреляционный анализ с использованием метода Спирмена и Пирсона. Полученный фактический материал подвергли компьютерной обработке с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel и RStudio.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Важной задачей в селекции сельскохозяйственных животных является комплексное изучение интерьера по биохимическим, физико-химическим, физиологическим, молекулярно-генетическим, цитогенетическим и другим показателям [16–19].

Из всех органических веществ, входящих в состав живых организмов, наиболее важными в биологическом отношении и наиболее сложными по структуре являются белки. Учитывая многообразие функций белков в организме (каталитическая, структурная, энергетическая, транспортная, передача наследственности, защитная, регуляторная) изучение состояния белкового обмена при воздействии различных факторов окружающей среды представляет значительный интерес [8, 19–21].

Проанализированы корреляции между ключевыми показателями белкового обмена и содержанием тяжелых металлов и микроэлементов в различных биосубстратах. Целью анализа было выявление интерьерных маркеров, отражающих связь элементного статуса с метаболизмом. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Ассоциация некоторых показателей белкового обмена с тяжелыми металлами в органах и тканях овец романовской породы
Association of some protein metabolism indices with heavy metals in organs and tissues of Romanov sheep

Коррелирующий признак	n	$r \pm S_r$	P <
Альбумин–Cu мышцы	24	-0,492±0,186	0,05
Альбумин–Na сыв.крови	25	-0,548±0,174	0,01
Мочевина–As волос	24	-0,421±0,193	0,05
Мочевина–Pb мышцы	24	0,425±0,193	0,05
Мочевая кислота–As почки	24	-0,441±0,191	0,05

Анализ данных выявил статистически значимые корреляции, которые позволяют глубже понять механизмы воздействия эссенциальных и токсичных элементов на белковый метаболизм.

Были установлены значимые отрицательные корреляции между уровнем альбумина и содержанием меди в мышцах ($r = -0,492$), а также натрия в сыворотке крови ($r = -0,548$). Альбумин является не только транспортным белком, но и так называемым негативным белком острой фазы. Его синтез в печени снижается при системном

воспалении или токсическом стрессе, в то время как синтез «позитивных» белков острой фазы возрастает [22].

Отрицательная связь с медью в мышцах может указывать именно на такой механизм. Избыточное накопление меди, являющейся прооксидантом, может вызывать локальное воспаление и повреждение мышечной ткани, что запускает системный острофазный ответ и приводит к снижению синтеза альбумина печенью [4].

Связь с натрием, вероятно, отражает нарушения водно-электролитного баланса, которые могут быть следствием стресса или нарушения функции почек. Снижение уровня альбумина в этом контексте может свидетельствовать об общем ухудшении состояния организма или о потере белка через почки при их повреждении [4, 30].

Выявлены отрицательные корреляции между уровнем мочевины и содержанием мышьяка в волосах ($r = -0,421$). На первый взгляд, это противоречит ожидаемому, ведь токсическое повреждение тканей должно усиливать катаболизм белков и, следовательно, повышать уровень мочевины. Однако тяжелый металл, такой как мышьяк, является известным ингибитором ферментов, в том числе тех, которые участвуют в орнитинном цикле (цикле мочевины) в печени [23, 24].

Таким образом, отрицательная корреляция может свидетельствовать о прямом подавлении синтетической функции печени: даже при усиленном распаде белка в тканях печень не способна эффективно синтезировать мочевину, что и приводит к снижению ее концентрации в крови.

В отличие от этого установлена положительная корреляция между мочевиной и свинцом в

мышцах ($r = 0,425$). Это может указывать на то, что в данном случае доминирующим эффектом свинца является его цитотоксическое действие, приводящее к усиленному распаду белка, что обеспечивает высокий уровень субстрата (аммиака) для синтеза мочевины [25].

Показатели белкового обмена являются высокочувствительными биомаркерами, отражающими не только общее состояние организма, но и специфические механизмы действия различных химических элементов. Выявленные взаимосвязи позволяют предположить, что накопление мышьяка может приводить к подавлению синтетической функции печени, в то время как свинец оказывает преимущественно катаболическое действие [8].

Для оценки влияния эссенциальных и токсичных элементов на липидный метаболизм был проведен корреляционный анализ между их содержанием в различных биосубстратах и ключевыми маркерами липидного профиля [18]. Выявлен ряд статистически значимых ассоциаций, которые раскрывают сложные механизмы взаимодействия между элементом статусом и метаболизмом липидов (табл. 2).

Таблица 2

Ассоциация некоторых показателей липидного обмена с тяжелыми металлами в органах и тканях овец романовской породы
Association of some lipid metabolism indices with heavy metals in organs and tissues of Romanov sheep

Коррелирующий признак	<i>n</i>	$r \pm S_r$	$P <$
ЛПВП–Pb сыв. крови	23	0,612±0,173	0,01
Липаза–Pb мышцы	24	-0,417±0,194	0,05
Холестерин–Zn печень	24	0,473±0,192	0,01

ЛПВП играют ключевую роль в обратном транспорте холестерина из периферических тканей в печень. Наши данные показали, что уровень ЛПВП был тесно связан с содержанием токсичного металла, но характер этой связи был прямо противоположным [26].

Выявлена положительная корреляция между ЛПВП и уровнем свинца (Pb) в сыворотке крови ($r = 0,612$). Свинец является мощным индуктором активных форм кислорода (АФК). ЛПВП, помимо своей транспортной функции, обладают выраженными антиоксидантными свойствами, защищая липиды и другие молекулы от окислительного повреждения. Таким образом, положительная корреляция может отражать компенсаторную реакцию организма: в ответ на вызванный свинцом окислительный стресс повышается уровень ЛПВП

как одного из ключевых факторов антиоксидантной защиты плазмы крови [23].

Выявленная отрицательная корреляция между липазой и содержанием свинца в мышцах ($r = -0,417$) является примером ингибирующего действия тяжелых металлов на ферменты. Свинец способен связываться с сульфгидрильными (-SH) группами в активных центрах многих ферментов, необратимо нарушая их структуру и функцию. Липаза, ключевой фермент липолиза, не является исключением [28, 29]. Таким образом, накопление свинца в тканях приводит к подавлению ее активности, что и отражается в виде отрицательной корреляции.

Была установлена значимая положительная корреляция между уровнем общего холестерина и содержанием цинка (Zn) в печени ($r = 0,473$).

Цинк является эссенциальным микроэлементом, который выступает в качестве кофактора для сотен ферментов, в том числе участвующих в синтезе и метаболизме липидов [9, 27]. Печень – центральный орган метаболизма холестерина. Положительная связь может отражать то, что адекватное обеспечение печени цинком необходимо для нормального протекания процессов синтеза холестерина, который, в свою очередь, является незаменимым предшественником для синтеза стероидных гормонов и желчных кислот. Кроме того, цинк сам по себе необходим для поддержания структурной целостности и функции клеточных мембран, богатых холестерином [26].

Показатели липидного обмена являются чувствительными биомаркерами, отражающими как

токсическое действие тяжелых металлов, так и роль эссенциальных микроэлементов. Свинец может вызывать компенсаторное повышение ЛПВП в ответ на оксидативный стресс, но при этом ингибирует активность липолитических ферментов. Цинк же является важным кофактором, необходимым для поддержания нормального метаболизма холестерина в печени [9, 27].

Для оценки влияния эссенциальных и токсичных элементов на гомеостаз электролитов был проведен корреляционный анализ между их содержанием в различных органах и тканях и концентрацией макроэлементов в сыворотке крови. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Ассоциация некоторых показателей минерального обмена с тяжелыми металлами
в органах и тканях овец романовской породы

Association of some indicators of mineral metabolism with heavy metals in organs and tissues of Romanov sheep

Коррелирующий признак	<i>n</i>	$r \pm S_r$	<i>P</i> <
К сыв.крови–Cu сердце	24	0,443±0,191	0,05
Na сыв.крови–Zn сердце	24	-0,474±0,194	0,05
Cl сыв.крови–Zn мышцы	24	-0,426±0,193	0,05
Mg сыв.крови–Cd мышцы	24	-0,451±0,190	0,05

Установлены корреляции между накоплением меди в сердце и уровнями калия и натрия в сыворотке крови: положительная для калия ($r = 0,443$). Na⁺/K⁺-АТФазы — ключевой ионный насос, поддерживающий трансмембранный градиент натрия и калия, что критически важно для возбудимости кардиомиоцитов. Избыток меди является известным ингибитором этого фермента [28]. Подавление активности Na⁺/K⁺-АТФазы приводит к тому, что клетки сердца теряют способность эффективно закачивать калий из крови (что приводит к его повышению в сыворотке) и выводить натрий наружу [29].

В мышечной ткани были выявлены две значимые отрицательные корреляции: между сывороточным магнием и накоплением кадмия ($r = -0,451$), а также между сывороточным хлором и накоплением цинка ($r = -0,426$).

Отрицательная связь Mg–Cd является примером ионного антагонизма. Кадмий и магний – двухвалентные катионы со схожими физико-химическими свойствами. Кадмий способен конкурентно вытеснять магний из активных центров ферментов и блокировать магниевые транспортные каналы, нарушая его поступление

в клетки и вызывая его усиленное выведение из организма [30].

Отрицательная связь Cl–Zn может отражать нарушение функции хлоридных каналов в мышцах. Цинк является важным модулятором различных ионных каналов, и его избыток может нарушать их проницаемость, что ведет к изменению электролитного баланса между клеткой и плазмой крови [2, 15, 16, 31].

Проведенный анализ демонстрирует, что минеральный гомеостаз является чувствительной мишенью для действия тяжелых металлов и избытка микроэлементов. Выявленные корреляции указывают на специфические механизмы их токсического действия: ингибирование ключевых ионных насосов в сердце (медь, цинк), развитие нефропатии с нарушением экскреторной функции (свинец) и конкурентный антагонизм на уровне ионных транспортеров в мышечной ткани (кадмий, цинк). Эти данные подчеркивают важность мониторинга элементного статуса для оценки субклинических нарушений минерального обмена и здоровья овец в целом [24].

У разных видов животных связь между параметрами белкового, жирового, углеводного обмена

с уровнем макро- и микроэлементов значительно различаются. Это зависит от направления продуктивности, биохимических и физиологических процессов и наследственной обусловленности признаков. Так, у овец и свиней отсутствуют корреляции между концентрациями щелочной фосфатазы и железом в мышечной ткани. У крупного рогатого скота существуют положительные связи между этими показателями ($r = 0,420$). У свиней уровень щелочной фосфатазы отрицательно коррелировал с концентрацией цинка в селезенке ($r = -0,611$) [14, 16]. В то же время у овец и крупного рогатого скота подобные корреляции отсутствуют [2, 15]. Следует предположить, что у разных видов животных в органах и тканях имеются характерные для них определенные ассоциации биохимических показателей с уровнем макро- и микроэлементов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Комплексное изучение интерьера сельскохозяйственных животных, включая оценку их биохимического статуса, является фундаментальным подходом для объективной оценки адаптационного потенциала и прогнозирования продуктивности [16–19]. В условиях растущей техногенной нагрузки на агроэкосистемы особую актуальность приобретает понимание того, как элементный статус организма влияет на ключевые метаболические процессы.

Анализ данных выявил ряд значимых корреляций, которые позволяют интерпретировать биохимические показатели как биомаркеры субклинического воздействия химических элементов. Установленная нами отрицательная корреляция между уровнем альбумина и содержанием меди в мышцах ($r = -0,492$) является примером такой взаимосвязи. Альбумин снижается в ответ на системный стресс или воспаление. Избыточное накопление меди может вызывать локальное повреждение мышечной ткани и запускать системный острофазный ответ, что и приводит к подавлению синтеза альбумина печенью.

Также установлена отрицательная корреляция мочевины с мышьяком в волосах ($r = -0,421$). Мышьяк является известным ингибитором многих ферментативных систем. Таким образом, эта связь, вероятно, отражает прямое подавление синтетической функции печени: несмотря на возможный усиленный распад белков в тканях, печень не способна эффективно синтезировать мочевину. Напротив, положительная связь мочевины со

свинцом в мышцах ($r = 0,425$) свидетельствует о том, что в данном случае доминирует цитотоксический эффект, приводящий к усиленному протеолизу и обеспечивающий высокий уровень субстрата для синтеза мочевины.

Выявленная нами сильная положительная корреляция между ЛПВП и свинцом в крови ($r = 0,612$), видимо, является отражением компенсаторной реакции организма. Свинец — мощный индуктор оксидативного стресса, а ЛПВП обладают выраженными антиоксидантными свойствами. Таким образом, повышение уровня ЛПВП может быть защитным механизмом, направленным на нейтрализацию свободных радикалов. В то же время отрицательная связь свинца в мышцах с липазой ($r = -0,417$) показывает его прямое ингибирующее действие на ферменты путем связывания с их сульфгидрильными группами. Положительная же связь холестерина с цинком в печени ($r = 0,473$) подчеркивает роль цинка как эссенциального кофактора, необходимого для нормального протекания синтеза холестерина.

Анализ минерального обмена выявил специфические механизмы токсического действия на клеточном уровне. Нарушение баланса калия и натрия при накоплении меди в сердце ($r = 0,443$ для K) указывает на ингибирование Na⁺/K⁺ -АТФазы. Отрицательная корреляция между магнием и кадмием в мышцах ($r = -0,451$) является классическим примером ионного антагонизма, когда токсичный металл конкурентно блокирует транспорт и утилизацию эссенциального.

Выявленные взаимосвязи отражают сложные процессы на молекулярном и клеточном уровнях, включая ингибирование ферментов, индукцию оксидативного стресса, подавление синтетической функции печени и нарушение ионного транспорта.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены разные по величине и направлению связи параметров белкового, липидного и минерального обменов с концентрацией тяжелых металлов в органах и тканях овец романовской породы. Обнаружены отрицательные корреляции между альбумином и медью в мышцах ($r = -0,492$), а также мочевиной и мышьяком в волосах ($r = -0,421$). Установлена положительная связь мочевины со свинцом в мышцах ($r = 0,425$).

2. В липидном обмене отмечена сильная положительная связь свинца с концентрацией ЛПВП ($r = 0,612$), что, видимо, является защит-

ным механизмом на повышение уровня токсиканта. Уровень холестерина в сыворотке крови положительно коррелировал с концентрацией цинка в печени ($r = 0,473$).

3. При анализе ассоциаций параметров минерального обмена с депонированием тяжелых металлов в мышечной ткани и миокарде установлены в основном средние отрицательные корреляции и одна положительная (K – Cu в миокарде 0,443). Натрий был отрицательно связан с уровнем Zn в миокарде, а Cl и Mg соответственно отрицательно ассоциирован с концентрацией Zn и Cd в мышечной ткани ($r = -0,426$ и $-0,451$).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-26-00136).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Биология, генетика и селекция овцы / А.В. Кушнир, В.И. Глазко, В.Л. Петухов [и др.] – Новосибирск, 2010. – 520 с.
2. Тяжелые металлы в органах и мышцах романовских овец в Западной Сибири / Т.В. Коновалова, А.В. Назаренко, Р.Т. Саурбаева [и др.] // Зоотехния. – 2025. – № 8. – С. 38–40. – DOI: 10.25708/ZT.2025.73.68.009.
3. Закономерности аккумуляции кадмия в органах и щетине свиней кемеровской породы / А.В. Назаренко, О.А. Зайко, Т.В. Коновалова [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 1(66). – С. 140–149. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-140-149.
4. Щипцова Н.В., Терентьева М.Г. Влияние тяжелых металлов на организм животных // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 2(2). – С. 51–55.
5. Петухов В.Л., Камалдинов Е.В., Короткевич О.С. Влияние породы на устойчивость крупного рогатого скота к некоторым болезням // Главный зоотехник. – 2011. – № 1. – С. 10–12.
6. Донник И.М., Шкуратова И.А. Окружающая среда и здоровье животных // Ветеринария Кубани. – 2011. – № 2. – С. 12–13.
7. Показатели белкового обмена у овец с разными генотипами по гену миостатина / Т.В. Коновалова, Е.А. Климанова, А.В. Назаренко [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 192–199. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-75-2-192-199.
8. Морозов И.Н., Себежко О.И. Сезонные различия липидного профиля овцематок романовской породы в условиях Кузбасса // Зоотехния. – 2025. – № 3. – С. 31–34. – DOI: 10.25708/ZT.2025.46.49.008.
9. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях зайца-беляка (*Lepus timidus* L., 1758) на севере Красноярского края / П.В. Кочкарев, М.А. Кошурникова, А.А. Сергеев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2023. – № 2. – С. 217–230.
10. Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia / A.I. Syso, M.A. Lebedeva, A.S. Cherevko [et al.] // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Т. 9, № 4. – С. 368–374.
11. Углеводный и минеральный обмены у овец романовской породы в условиях Западной Сибири / Т.В. Коновалова, Е.А. Климанова, Е.И. Тарасенко [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 207–214. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-207-214.
12. Гормональный и метаболический статус бычков голштинской породы в экологических условиях Кемеровской области / Л.В. Осадчук, О.И. Себежко, Н.Г. Шишин [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2017. – № 2 (43). – С. 52–61.
13. Manganese content in muscles of sons of different Holstein bulls reared in Western Siberia / K.N. Narozhnykh, O.I. Sebezhko, T.V. Konovalova [et al.] // Trace Elements and Electrolytes. – 2021. – Vol. 38, No. 3. – P. 149.
14. Specific of accumulation of manganese in organs and tissues of Hereford cattle / K.N. Narozhnykh, V.L. Petukhov, A.I. Syso [et al.] // Brazilian Journal of Biology. – 2024. – Vol. 84. – P. e282174. – DOI: 10.1590/1519-6984.282174.
15. Correlations of some biochemical and hematological, parameters with polymorphisms in α 1-casein and β -lactoglobulin genes in Romanov sheep breed / T.V. Konovalova, O.I. Sebezhko, O.S. Korotkevich [et al.] // Proceedings of the International Symposium on Animal Science ISAS 2018. – Belgrade-Zemun, Serbia: University of Belgrade, 2018. – P. 47.
16. Тарасенко Е.И., Себежко О.И., Морозов И.Н. Сезонное содержание и изменчивость кортизола у овец романовской породы в Западной Сибири // Вестник КрасГАУ. – 2025. – № 1(214). – С. 78–84. – DOI: 10.36718/1819-4036-2025-1-78-84.
17. Себежко О.И. Межпородные различия гематологических показателей коров в Западной Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2025. – Т. 55, № 3(316). – С. 103–112. – DOI: 10.26898/0370-8799-2025-3-11.
18. Баличиева Д.В. Изучение белкового обмена в организме экспериментальных животных при воздействии физических факторов производственной среды // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. – 2011. – Т. 24 (63), № 2. – С. 62–66.
19. Генетические основы селекции животных / В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст, И.И. Гудилин [и др.]. – СПб.: Лань, 2025. – 452 с.

20. Сезонные колебания уровня половых гормонов у половозрелых овцематок романовской породы в Западной Сибири / О.И. Себежко, И.Н. Морозов, Е.И. Тарасенко [и др.] // Зоотехния. – 2024. – № 6. – С. 32–37. – DOI: 10.25708/ZT.2024.32.42.010.
21. Тяжелые металлы в органах и мышцах романовских овец в Западной Сибири / Т.В. Коновалова, А.В. Назаренко, Р.Т. Саурбаева [и др.] // Зоотехния. – 2025. – № 8. – С. 38–40. – DOI: 10.25708/ZT.2025.73.68.009.
22. Gabay C., Kushner I. Acute-phase proteins and other systemic responses to inflammation // *New England Journal of Medicine*. – 1999. – Vol. 340, No. 6. – P. 448–454. – DOI: 10.1056/NEJM199902113400607.
23. Valko M., Morris H., Cronin M.T.D. Metals, toxicity and oxidative stress // *Current Medicinal Chemistry*. – 2005. – Vol. 12, No. 10. – P. 1161–1208. – DOI: 10.2174/0929867053764635.
24. Шунк А.А. Нарушение белково-минерального обмена у овец в Алтайском крае // *Ветеринария*. – 2009. – № 3. – С. 43–45.
25. Bandmann O., Weiss S., Kaler K.H. Wilson's disease and other neurological copper disorders // *The Lancet Neurology*. – 2015. – Vol. 14, No. 1. – P. 103–113. – DOI: 10.1016/S1474-4422(14)70190-5.
26. Zinc and its role in immunity and inflammation / P. Bonaventura, G. Benedetti, F. Albarède [et al.] // *Autoimmunity Reviews*. – 2015. – Vol. 14, No. 4. – P. 277–285. – DOI: 10.1016/j.autrev.2014.11.008.
27. Липидный статус овцематок романовской породы на юге Западной Сибири / И.Н. Морозов, О.И. Себежко, Е.И. Тарасенко [и др.] // *Достижения науки и техники АПК*. – 2022. – Т. 36, № 7. – С. 71–76. – DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_71.
28. Desouza C.V., Desouza N.A., Pinheiro C.G.G. The role of pollution in the pathogenesis of cardiovascular disease // *Current Cardiology Reports*. – 2010. – Vol. 12, No. 3. – P. 159–166. – DOI: 10.1007/s11886-010-0103-6.
29. Fadrowski J.J., Weaver M.R., Satlin L.M. Kidney dysfunction related to chronic low-level lead exposure // *Current Opinion in Pediatrics*. – 2010. – Vol. 22, No. 2. – P. 195–200. – DOI: 10.1097/MOP.0b013e32833630d7.
30. Hartwig A. Cadmium and cancer // *Metal Ions in Life Sciences*. – 2010. – Vol. 7. – P. 491–508. – DOI: 10.1039/9781849730822-00491.
31. Arsenic and cardiovascular disease / J.C. States, S. Barchowsky, P.J.F. Cartwright [et al.] // *Toxicological Sciences*. – 2021. – Vol. 179, No. 1. – P. 3–20. – DOI: 10.1093/toxsci/kfaa155.

REFERENCES

1. Kushnir A.V., Glazko V.I., Petukhov V.L., Dimov G., Storozhuk S.I., *Biologiya, genetika i selektsiya ovtsy* (Biology, genetics and breeding of sheep), Novosibirsk, 2010, 520 p.
2. Konovalova T.V., Nazarenko A.V., Saurbaeva R.T., *Zootexniya*, 2025, No. 8, pp. 38–40, DOI: 10.25708/ZT.2025.73.68.009. (In Russ.)
3. Nazarenko A.V., Zajko O.A., Konovalova T.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, No. 1(66), pp. 140–149, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-140-149. (In Russ.)
4. Shhipczova N.V., Terent'eva M.G., *Vestnik Chuvashskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii*, 2017, No. 2(2), pp. 51–55. (In Russ.)
5. Petukhov V.L., Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S., *Glavnyj zootexnik*, 2011, No. 1, pp. 10–12. (In Russ.)
6. Donnik I.M., Shkuratova I.A., *Veterinariya Kubani*, 2011, No. 2, pp. 12–13. (In Russ.)
7. Konovalova T.V., Klimanova E.A., Nazarenko A.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2025, No. 2(75), pp. 192–199, DOI: 10.31677/2072-6724-2025-75-2-192-199. (In Russ.)
8. Morozov I.N., Sebezsko O.I., *Zootexniya*, 2025, No. 3, pp. 31–34, DOI: 10.25708/ZT.2025.46.49.008. (In Russ.)
9. Kochkarev P.V., Koshurnikova M.A., Sergeev A.A. i dr., *Texnika i texnologiya pishhevy x proizvodstv*, 2023, No. 2, pp. 217–230. (In Russ.)
10. Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S., Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, T. 9, No. 4, pp. 368–374.
11. Konovalova T.V., Klimanova E.A., Tarasenko E.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2024, No. 4(73), pp. 207–214, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-207-214. (In Russ.)
12. Osadchuk L.V., Sebezsko O.I., Shishin N.G., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2017, No. 2 (43), pp. 52–61. (In Russ.)
13. Narozhnykh K.N., Sebezsko O.I., Konovalova T.V., Manganese content in muscles of sons of different Holstein bulls reared in Western Siberia, *Trace Elements and Electrolytes*, 2021, Vol. 38, No. 3, pp. 149.
14. Narozhnykh K.N., Petukhov V.L., Syso A.I., Specific of accumulation of manganese in organs and tissues of Hereford cattle, *Brazilian Journal of Biology*, 2024, Vol. 84, pp. e282174, DOI: 10.1590/1519-6984.282174.
15. Konovalova T.V., Sebezsko O.I., Korotkevich O.S., Correlations of some biochemical and hematological parameters with polymorphisms in α 1-casein and β -lactoglobulin genes in Romanov sheep breed, *Proceedings of the International Symposium on Animal Science ISAS 2018*. – Belgrade-Zemun, Serbia: University of Belgrade, 2018, pp. 47.

16. Tarasenko E.I., Sebezhko O.I., Morozov I.N., *Vestnik KrasGAU*, 2025, No. 1(214), pp. 78–84, DOI: 10.36718/1819-4036-2025-1-78-84. (In Russ.)
17. Sebezhko O.I., *Sibirskij vestnik sel'skoxozyajstvennoj nauki*, 2025, T. 55, No. 3(316), pp. 103–112, DOI: 10.26898/0370-8799-2025-3-11. (In Russ.)
18. Balichieva D.V., *Ucheny'e zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo*, 2011, T.24 (63), No. 2, pp. 62–66. (In Russ.)
19. Petuxov V.L., E'rnst L.K., Gudilin I.I., *Geneticheskie osnovy` selekcii zhivotny`x* (Genetic basis of animal breeding), Sankt-Peterburg: Lan', 2025, 452 p.
20. Sebezhko O.I., Morozov I.N., Tarasenko E.I., *Zootexniya*, 2024, No. 6, pp. 32–37, DOI: 10.25708/ZT.2024.32.42.010. (In Russ.)
21. Konovalova T.V., Nazarenko A.V., Saurbaeva R.T., *Zootexniya*, 2025, No. 8, pp. 38–40, DOI: 10.25708/ZT.2025.73.68.009. (In Russ.)
22. Gabay C., Kushner I., Acute-phase proteins and other systemic responses to inflammation, *New England Journal of Medicine*, 1999, Vol. 340, No. 6, pp. 448–454, DOI: 10.1056/NEJM199902113400607.
23. Valko M., Morris H., Cronin M.T.D., Metals, toxicity and oxidative stress, *Current Medicinal Chemistry*, 2005, Vol. 12, No. 10, pp. 1161–1208, DOI: 10.2174/0929867053764635.
24. Shunk A.A., *Veterinariya*, 2009, No. 3, pp. 43–45. (In Russ.)
25. Bandmann O., Weiss S., Kaler K.H., Wilson's disease and other neurological copper disorders, *The Lancet Neurology*, 2015, Vol. 14, No. 1, pp. 103–113, DOI: 10.1016/S1474-4422(14)70190-5.
26. Bonaventura P., Benedetti G., Albarède F., Zinc and its role in immunity and inflammation, *Autoimmunity Reviews*, 2015, Vol. 14, No. 4, pp. 277–285, DOI: 10.1016/j.autrev.2014.11.008.
27. Morozov I.N., Sebezhko O.I., Tarasenko E.I., *Dostizheniya nauki i texniki APK*, 2022, T. 36, No. 7, pp. 71–76, DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_71. (In Russ.)
28. Desouza C.V., Desouza N.A., Pinheiro C.G.G., The role of pollution in the pathogenesis of cardiovascular disease, *Current Cardiology Reports*, 2010, Vol. 12, No. 3, pp. 159–166, DOI: 10.1007/s11886-010-0103-6.
29. Fadrowski J.J., Weaver M.R., Satlin L.M., Kidney dysfunction related to chronic low-level lead exposure, *Current Opinion in Pediatrics*, 2010, Vol. 22, No. 2, pp. 195–200, DOI: 10.1097/MOP.0b013e32833630d7.
30. Hartwig A., Cadmium and cancer, *Metal Ions in Life Sciences*, 2010, Vol. 7, pp. 491–508, DOI: 10.1039/9781849730822-00491.
31. States J.C., Barchowsky S., Cartwright P.J.F., Arsenic and cardiovascular disease, *Toxicological Sciences*, 2021, Vol. 179, No. 1, pp. 3–20, DOI: 10.1093/toxsci/kfaa155.

Информация об авторах:

Е.И. Тарасенко, преподаватель
 Т.В. Коновалова, ст. преподаватель
 О.С. Короткевич, профессор, доктор биологических наук
 В.Л. Петухов, профессор, доктор биологических наук
 И.В. Морузи, профессор, доктор биологических наук
 В.Г. Маренков, доцент, кандидат биологических наук
 Е.В. Пищенко, профессор, доктор биологических наук
 А.И. Желтиков, профессор, доктор сельскохозяйственных наук

Contribution of the authors:

E.I. Tarasenko, teacher
 T.V. Konovalova, senior teacher
 O.S. Korotkevich, Professor, Doctor of Biological Sciences
 V.L. Petukhov, Professor, Doctor of Biological Sciences
 I.V. Moruzi, Professor, Doctor of Biological Sciences
 V.G. Marenkov, Associate Professor, Candidate of Biological Sciences
 E.V. Pishchenko, Professor, Doctor of Biological Sciences
 A.I. Zheltikov, Professor, Doctor of Agricultural Sciences

Вклад авторов:

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

ЭПИЗООТОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И АНАЛИЗ НОЗОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ БОЛЕЗНЕЙ ЖИВОТНЫХ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В 2019–2023 гг., ТЕНДЕНЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕР ПО ИХ ПРОФИЛАКТИКЕ

¹Л.Я. Юшкова, ¹А.С. Донченко, ¹Г.М. Стеблева, ¹А.В. Юдаков, ²И.В. Мельцов

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, р.п. Краснообск Новосибирской обл., Россия

²Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, п. Молодёжный Иркутской обл., Россия

E-mail: iushkova.l@yandex.ru

Для цитирования: Эпизоотологический мониторинг и анализ нозологической структуры социально значимых болезней животных в Российской Федерации в 2019–2023 гг., тенденции совершенствования мер по их профилактике / Л.Я. Юшкова, А.С. Донченко, Г.М. Стеблева, А.В. Юдаков, И.В. Мельцов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 289–298. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-289-298.

Ключевые слова: эпизоотическая ситуация, нозологический профиль, социально значимые болезни, эпизоотический процесс, противоэпизоотические мероприятия.

Реферат. Заразные болезни занимают важнейшее место среди всех заболеваний животных. Они характеризуются наличием эпизоотического процесса – непрерывной цепью следующих друг за другом заражений (последовательной передачи возбудителя болезни от зараженного животного к здоровому с помощью различных факторов) [1, 2]. Анализ эпизоотической ситуации по социально значимым болезням животных в период с 2019 по 2023 гг. показал, что в Российской Федерации сократилось количество мелкого рогатого скота, заболевшего бруцеллезом. В то же время увеличилась заболеваемость крупного рогатого скота туберкулезом и бруцеллезом. Несмотря на тенденцию к снижению заболеваемости бешенством, высокая эпизоотичность сохраняется среди домашних плотоядных и диких животных. В 2023 г. отмечено снижение заболеваемости сельскохозяйственных животных лептоспирозом по сравнению с 2019 г. Только детальное изучение эпизоотической ситуации, постоянная бдительность ветеринарной службы, правильное и своевременное применение разработанных научных методов и средств общей и специфической профилактики, активное участие местных органов власти и хозяйственных руководителей позволяют контролировать, сдерживать распространение этих болезней и принимать конкретные меры к их ликвидации [3].

EPIZOOTOLOGICAL MONITORING AND ANALYSIS OF THE NOSOLOGICAL STRUCTURE OF SOCIALLY SIGNIFICANT ANIMAL DISEASES IN OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE PERIOD FROM 2019–2023 YEARS, TRENDS IN IMPROVING MEASURES FOR THEIR PREVENTION

¹L.Ya. Yushkova, ¹A.S. Donchenko, ¹G.M. Stebleva, ¹A.V. Yudakov, ²I.V. Meltsov

¹Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

²Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Molodezhny, Irkutsk Region, Russia

E-mail: iushkova.l@yandex.ru

Keywords: epizootic situation, nosological profile, socially significant diseases, epizootic process, antiepizootic measures.

Abstract. Infectious diseases occupy the most important place among all animal diseases, and are characterized by the presence of an epizootic process – a continuous chain of infections following each other (sequential transmission of the pathogen from an infected animal to a healthy one, using various factors) [1, 2]. An analysis of the epizootic situation for socially significant animal diseases in the period from 2019 to 2023 showed that the number of small cattle infected with brucellosis has decreased in the Russian Federation. At the same time, the incidence of tuberculosis and brucellosis in cattle has increased. Despite the downward trend in

rabies incidence, high epizootic rates persist among domestic carnivores and wild animals. In 2023 year, there was a decrease in the incidence of leptospirosis in farm animals compared to 2019 year. Only a detailed study of the epizootic situation, the constant vigilance of the veterinary service, the correct and timely application of scientifically developed methods and means of general and specific prevention, the active participation of local authorities and business leaders make it possible to control, contain the spread of these diseases and take concrete measures to eliminate them [3].

Профилактика и ликвидация зоонозных инфекций остается одной из приоритетных и ответственных задач ветеринарной науки и практики. К числу наиболее значимых зоонозов, формирующих эпизоотический и эпидемический статус многих стран и регионов мира, относится сибирская язва, лептоспироз и бешенство, которые приняли характер энзоотичных инфекций [4].

С начала 90-х гг. XX в. наметился устойчивый рост заболеваемости бешенством в Российской Федерации. Инфекция стала недостаточно контролируемой. Число эпизоотических очагов в отдельные годы превышало 1000 [1].

Заболеваемость туберкулезом растет в ряде стран мира, не составляет исключения и Россия. Ежегодно в стране регистрируют сотни неблагополучных пунктов на более чем сорока территориях, где болеет до 20–30 тыс. голов скота [1, 2].

Несмотря на многолетнее усилие и вакцинацию скота в неблагополучных зонах, бруцеллез по-прежнему остается проблемной инфекцией. Ежегодно в России регистрируют до 70–80 неблагополучных пунктов [1, 2].

Актуальной остается проблема лептоспирозов, поскольку сохраняется эпизоотическая активность отдельных природных и антропоургических очагов в нашей стране [5–7].

Чтобы достичь определенных успехов в эпизоотическом благополучии, необходимо скрупулезное изучение эпизоотической ситуации, повседневное внимание к этим инфекциям ветеринарной службы, методически точное и своевременное использование предложенных наукой эффективных способов и средств общей и специфической профилактики, диагностики и мер ликвидации ветеринарными службами местных органов власти. Следует контролировать, купировать распространение таких инфекций, принимать конкретные меры по их ликвидации.

Полная ликвидация инфекционных болезней, особенно зоонозов, – приоритетная задача государственной ветеринарной службы. Постоянный контроль и управление развитием эпизоотического процесса наиболее опасных инфекций сельскохозяйственных животных возможны только при использовании знаний закономерностей эпизоотического процесса конкретной инфекционной

болезни с учетом этиологии источника их заражения, механизмов и факторов передачи [8–10].

Цель исследований:

– анализ эпизоотической ситуации по бешенству, бруцеллезу, туберкулезу и лептоспирозу на территории Российской Федерации в 2019–2023 гг.;

– нозологический профиль бешенства, бруцеллеза, туберкулеза, лептоспироза по количеству эпизоотических очагов и заболевших животных в 2019–2023 гг.;

– общие результаты диагностики животных на бешенство, бруцеллез, туберкулез, лептоспироз в 2023 г.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу исследования были положены труды советских и российских ученых-инфекционистов. Информационной базой исследования являются статистические материалы, сводные годовые данные по эпизоотической ситуации в Российской Федерации информационно-аналитического центра Россельхознадзора. В работе использовались статистические и сравнительные методы исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты представленных исследований, основанных на статистических, сравнительных данных, выявили следующий нозологический профиль заразных болезней животных за период с 2019 по 2023 г.

В табл. 1 представлены четыре нозологические формы инфекционных болезней животных (бешенство, бруцеллез, туберкулез крупного рогатого скота, лептоспироз), отражающие годовую динамику заболеваемости. Количество неблагополучных пунктов показало, что в 2023 г. отмечена самая высокая заболеваемость бруцеллезом крупного и мелкого рогатого скота (28 300 гол.) – 93,8 % к общему числу инфицированных животных. В 2021 г. туберкулез крупного рогатого скота с наиболее низким показателем заболеваемости (0,2 %) был выявлен у 22 животных.

Таблица 1

**Сравнительно-аналитические показатели по зоонозным болезням животных
в Российской Федерации в 2019–2023 гг.
Comparative and analytical indicators of zoonotic animal diseases in the Russian Federation in 2019–2023.**

Нозоформа	2019 г.			2020 г.			2021 г.			2022 г.			2023 г.		
	Неблагополучный пункт	Заболело (пало)	% к общ. колч. заболевших жив.	Неблагополучный пункт	Заболело (пало)	% к общ. колч. заболевших жив.	Неблагополучный пункт	Заболело (пало)	% к общ. колч. заболевших жив.	Неблагополучный пункт	Заболело (пало)	% к общ. колч. заболевших жив.	Неблагополучный пункт	Заболело (пало)	% к общ. колч. заболевших жив.
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Бешенство	1181	1246	10,2	1452	1551	13,1	1033	1199	11,2	767	811	7,1	738	774	2,6
В том числе:															
дом. плотоядные	–	575	46,1	–	729	47,0	–	562	46,8	–	401	49,4	–	349	45,1
дикие животные	–	580	46,5	–	660	42,5	–	455	37,9	–	341	42,0	–	343	44,3
с/х животные	–	91	7,3	–	162	10,4	–	182	15,2	–	69	8,5	–	82	10,6
Бруцеллез	417	7723	63,2	462	7299	61,7	278	7545	70,8	282	9126	79,9	290	28300	93,8
В том числе:															
КРС	376	6678	86,4	430	6656	91,2	245	6470	85,7	248	8206	89,9	248	27200	96,1
МРС	38	950	12,3	32	643	8,8	33	1075	14,2	34	920	10,1	42	1100	3,8
Свиньи	1	2	0,02	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Лошади	2	93	1,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Туберкулез КРС	8	1285	10,5	3	1636	13,8	2	22	0,2	–	–	–	4	120	0,4
Лептоспироз	121	1973	16,1	141	1344	11,4	141	1892	17,7	175	1472	12,9	161	953	3,2
В том числе:															
с/х животные	113	1958	99,2	134	1328	98,8	134	1886	99,7	162	1434	97,4	135	923	96,8
дом. плотоядные	8	15	0,7	7	16	1,2	7	6	0,3	13	38	2,6	26	30	3,1
$n = 4$	$\Sigma = 1727$	$\Sigma = 12227$	$\Sigma = 100$	$\Sigma = 2058$	$\Sigma = 11830$	$\Sigma = 100$	$\Sigma = 1454$	$\Sigma = 10658$	$\Sigma = 100$	$\Sigma = 1224$	$\Sigma = 11409$	$\Sigma = 100$	$\Sigma = 1193$	$\Sigma = 30147$	$\Sigma = 100$
Итого неблагополучных пунктов (эпизоотических очагов):	$\Sigma = 7656$														
Итого заболело (пало):	$\Sigma = 76271$														

Не меньшее значение в социальном плане в представленной «нозологической цепи» занимает лептоспироз, наибольший пик заболеваемости которого пришелся на 2019 г. – 1973 (16,1 %) голов заболевших животных. В меньшей степени заболеваемость лептоспирозом отмечена в 2023 г. – 3,2 %.

В 2020 г. было зарегистрировано наибольшее количество зараженных бешенством животных – 1551 голова, или 13,1 % от общего среднегодового числа других нозологических форм. Причем

внутриинфекционный показатель рабической болезни больше выражен у домашних плотоядных – 47,0 %, меньше у сельскохозяйственных животных – 10,4 %. Причем дикие животные составили 42,5 % внутрипопуляционной зараженности.

Нозологический профиль количества эпизоотических очагов вышеприведенных инфекционных болезней животных в 2019–2023 гг., представлен рис. 1.

Обозначенный рисунок приведен в виде линейно-радианной схематичной модели, представленной пятью нозологическими единицами за 2019–2023 гг., зарегистрированными в 7656 эпизоотических очагах. Методом сравнительных оценок и верификации установлено, что в инфекционной патологии по количеству эпизо-

отических очагов доминирует бешенство – 67,5 %, бруцеллез – 22,6 %, причем 2,3 % бруцеллезной инфекции отмечено среди мелкого рогатого скота, 20,2 % случаев среди крупного рогатого скота. Доля зарегистрированных эпизоотических очагов среди других животных составила 0,04 % [11].

Условные обозначения	Нозоединицы	Кол-во эпизоот. очагов	Уд. вес %
	Общее количество эпизоотических очагов	7656	100
	Бешенство	5171	67,5
	Бруцеллез. В том числе:	1729	22,6
	крупного рогатого скота	1547	20,2
	мелкого рогатого скота	179	2,3
	другие животные (свиньи, лошади)	3	0,04
	Туберкулез крупного рогатого скота	17	0,2
	Лептоспироз. В том числе:	739	9,6
	сельскохозяйственные животные	678	8,8
	домашние плотоядные (собаки)	61	0,8

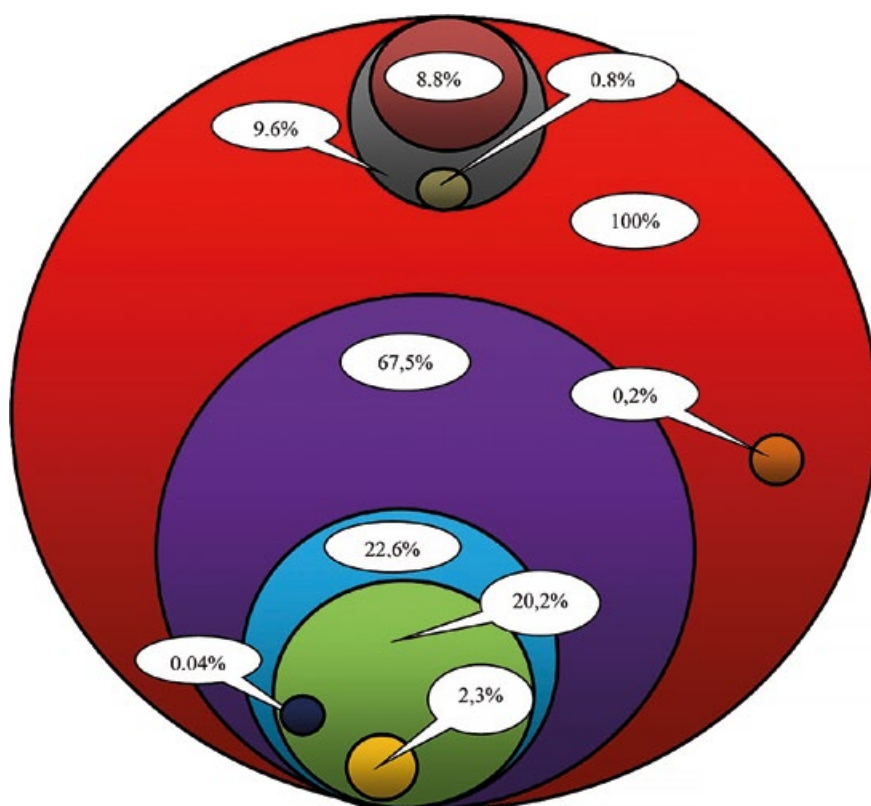


Рис. 1. Линейно-радианная схема-модель нозологического профиля рабическо-бруцеллезно-туберкулезно-лептоспирозной инфекций животных по количеству эпизоотических очагов в 2019–2023 гг.

Linear-radian diagram-model of the nosological profile of rabies-brucellosis-tuberculosis-leptospirosis infections in animals by the number of epizootic foci in 2019–2023.

Лептоспироз составил 9,6 % к общему количеству эпизоотических очагов. При этом 0,8 % очагов лептоспироза пришлось на домашних плотоядных (собак) и 8,8 % эпизоотических очагов – на сельскохозяйственных животных. Туберкулез крупного рогатого скота представлен семнадцатью эпизоотическими очагами и составляет 0,2 %. Бешенство по количеству эпизоотических очагов занимает ведущее звено в нозологической цепи «рабическо-бруцеллезно-туберкулезно-лептоспирозной инфекций» животных.

Годовая динамика заболеваемости этих четырех инфекций животных за 2019–2023 гг. представлена в графической модели (рис. 2).

Согласно данным графической модели, динамика заболеваемости животных указанными зооантропонозами в 2019–2023 гг. отметила самый высокий показатель в 2023 г. – 30 147 животных, что составило 39,5 % от числа заболевших животных за все годовые циклы эпизоотичности. Далее, наибольшее количество заболевших животных (16,0 %) зарегистрировано в 2019 г., в меньшей степени (13,9 %) – в 2021 г., в 2020, 2022 гг. их количество соответственно составляло 15,5 и 14,9 % [11].

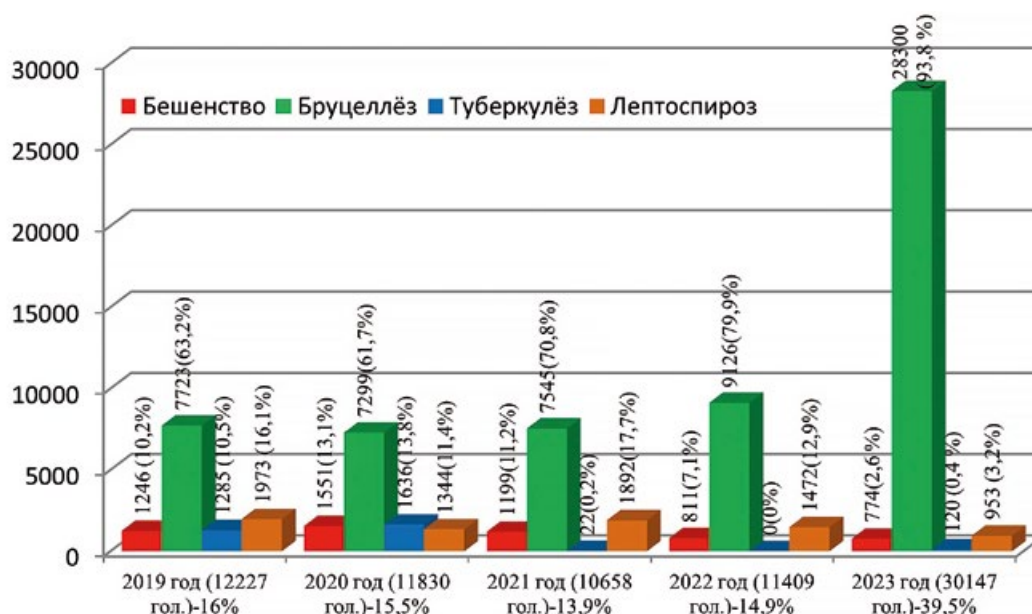


Рис. 2. Годовая динамика заболеваемости рабическо-бруцеллезно-туберкулезно-лептоспирозной инфекцией животных в Российской Федерации в 2019–2023 гг.

Annual dynamics of incidence of rabies-brucellosis-tuberculosis-leptospirosis infection in animals in the Russian Federation in 2019–2023.

По отдельно взятым нозологическим единицам в годовых циклах лидирует бруцеллез, где наиболее высокий пик заболеваемости зарегистрирован в 2023 г. Он составил 93,8 % (28 300 гол.) от общего количества заболевших животных за данный годичный период. Заболеваемость данной нозологической единицей в 2022, 2019, 2021, 2020 гг. составила соответственно 79,9; 63,2; 70,8; 61,7 %. Лептоспирозная инфекция доминирует после бруцеллезной, наиболее высокая заболеваемость была отмечена в 2019 г.: 16,1 % (1973 животных). Самый низкий пик пришелся на 2023 г.: 3,2 % (953 заболевших животных). По рабической болезни доминирует 2020 г.: 13,1 % заболеваемости животных. В 2023 г. был зафиксирован самый низкий показатель заболеваемости бешенством за 2019–

2023 гг. – 774 случая. Это составило 2,6 % от общего количества заболевших животных в этом году. Туберкулезная инфекция крупного рогатого скота в динамике заболеваемости по годам варьирует следующим образом. Если в 2020 г. было зарегистрировано 1636 случаев заболевания (13,8 %), то в 2022 г. данная инфекция на территории Российской Федерации не регистрировалась. Далее, заболеваемость в 2019 г. составила 1285 случаев (10,5 %), в 2021 г. – 22 случая (0,2 %), в 2023 г. – 120 случаев (0,4 %) соответственно. Статистически суммарная цикличность заболеваемости в 2019–2023 гг. бруцеллезом составила 78,6 %, лептоспирозом – 10,0 %, бешенством – 7,3 %, туберкулезом – 4,0 %. Показатели заболеваемости в суммарно-годовой динамике 2019–2023 гг. отражены в линейно-радианной

схеме-модели нозологического профиля заразной патологии сельскохозяйственных, домашних и диких животных, представленной на рис. 3. По данным рисунка, бруцеллез доминирует среди общей инфекционной патологии по количеству заболевших животных, его доля составляет

78,6 %. При этом внутри бруцеллеза превалирует заболеваемость крупного рогатого скота – 72,4 %, затем следует бруцеллез мелкого рогатого скота (6,1 %) и замыкает данную «нозологическую цепочку» бруцеллез других животных (свиньи, лошади) – 0,1 % [11].

Условные обозначения	Нозоединицы	Кол-во заболевших животных	Уд. вес, %
	Общая инфекционная патология	76271	100
	Бешенство. В том числе:	5581	7,3
	сельскохозяйственные животные	586	0,8
	домашние плотоядные (собаки)	2616	3,4
	дикие животные	2379	3,1
	Бруцеллез, в том числе:	59993	78,6
	крупного рогатого скота	55210	72,4
	мелкого рогатого скота	4688	6,1
	другие животные (свиньи, лошади)	95	0,1
	Туберкулез крупного рогатого скота	3063	4,0
	Лептоспироз. В том числе:	7634	10,0
	сельскохозяйственные животные	7529	9,8
	домашние плотоядные (собаки)	105	0,1

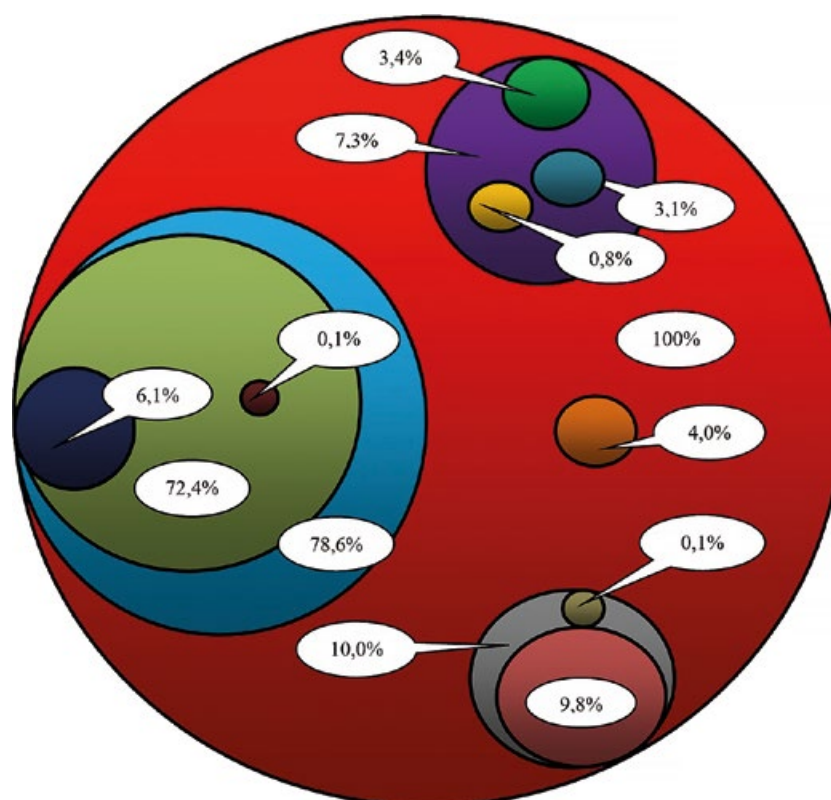


Рис. 3. Линейно-радианная схема модель нозологического профиля заразной патологии сельскохозяйственных и других животных (по количеству заболевших) в Российской Федерации в 2019–2023 гг.

Linear-radian diagram model of the nosological profile of infectious pathology of agricultural and other animals (by the number of cases) in the Russian Federation in 2019–2023.

Лептоспироз в заразной патологии животных составляет 10,0 %, при этом у сельскохозяйственных животных данная инфекция составляет 9,8 %, а у домашних плотоядных 0,1 %.

По рабической болезни доминирующее положение занимают домашние плотоядные (собаки) – 3,4 % и в меньшей степени она встречается у сельскохозяйственных животных – 0,8 %. В целом бешенство составляет 7,3 % от всей нозологии рабическо-бруцеллезно-туберкулезно-лептоспирозной инфекции, в которой туберкулез крупного рогатого скота составляет 4,0 % и является замыкающим звеном в «нозологической цепи» данных патологий [11].

Сводные статистические данные по вышеперечисленным нозоформам представлены в табл. 2.

Представленные в табл. 2 данные показывают, что за 2019–2023 гг. больший пик заболеваемости среди животных был выражен бруцеллезной инфекцией – 78,6 % (59 993 гол.). Это отражает эпизоотологическую значимость бруцеллеза в нозологическом профиле представленных инфекционных болезней за данный период. Лептоспироз составил 10,0 % от общего числа больных животных, бешенство и туберкулез – 7,3 и 4,0 % соответственно.

Таблица 2

Нозология рабическо-бруцеллезно-туберкулезно-лептоспирозной инфекций животных по объективным показателям эпизоотологического надзора за 2019–2023 гг. в Российской Федерации
Nosology of rabies-brucellosis-tuberculosis-leptospirosis infections in animals based on objective indicators of epizootological surveillance for 2019–2023 in the Russian Federation

Болезнь	2019 г.		2020 г.		2021 г.		2022 г.		2023 г.		Кол-во заболевших животных за 2019–2023 гг.
	Кол-во заболевших животных	% от общ. кол-ва забол. животных	Кол-во заболевших животных	% от общ. кол-ва забол. животных	Кол-во заболевших животных	% от общ. кол-ва забол. животных	Кол-во заболевших животных	% от общ. кол-ва забол. животных	Кол-во заболевших животных	% от общ. кол-ва забол. животных	
Рабическо-бруцеллезно-туберкулезно-лептоспирозная инфекция	12227	16,0	11830	15,5	10658	13,9	11409	14,9	30147	39,5	76271
	Кол-во заболевших животных в 2019–2023 гг., гол.					% от общего кол-ва заболевших животных					
Бешенство	5581					7,3					
Бруцеллез	59993					78,6					
Туберкулез	3063					4,0					
Лептоспироз	7634					10,0					

В целом по суммарному количеству всех заболевших животных рабическо-бруцеллезно-туберкулезно-лептоспирозной инфекциями доминирует 2023 г., на который приходится 39,5 % заболевших животных (30 147 гол.). Меньшая заболеваемость была отмечена в 2021 г. – 10 658 заболевших животных (13,9 %). Показатель заболеваемости за 2019, 2020 и 2022 гг. варьировал незначительно и составил 16,0, 15,5, 14,9 % соответственно [11].

Диагностические результаты лабораторных исследований животных на бешенство, тубер-

кулез, бруцеллез и лептоспироз представлены в табл. 3.

Данные таблицы свидетельствуют, что из четырех нозологических единиц при положительно реагирующем показателе заболеваемости от количества исследованных животных превалирует бруцеллез крупного рогатого скота (4,3 %), что отражает высокую степень зараженности бруцеллезной инфекцией поголовья данного вида животных.

Таблица 3

Эпизоотические показатели диагностики животных по бешенству, туберкулезу, бруцеллезу, лептоспирозу в Российской Федерации за 2023 г.

Epizootic indicators of animal diagnostics for rabies, tuberculosis, brucellosis, and leptospirosis in the Russian Federation for 2023.

Нозоформа	Вид животных	Исследовано, гол.	Положит. реагирующих	Заболеваемость животных, %
Бешенство	Домашние животные	3395	333	9,8
	В том числе:			
	собаки	1878	205	10,9
	кошки	1517	128	8,4
	Дикие животные	3771	348	9,2
Туберкулез	Крупный рогатый скот	16461	1597	9,7
Бруцеллез	Крупный рогатый скот	16021	2290	14,3
	Мелкий рогатый скот	60016	1129	1,8
Лептоспироз	Крупный рогатый скот	37973	1614	4,3
	Свиньи	38341	609	1,6

Среди исследуемого на бруцеллез поголовья мелкого рогатого скота положительно реагировало – 1,8 % (1129 из 60 016 исследуемых животных), по бешенству также отмечается значительное вирусоносительство, среди диких животных оно составило 9,2 % (348 животных из 3771 исследуемых были с положительной реакцией). Среди домашних животных (собак, кошек) заболеваемость наблюдалась у 9,8 % исследуемых.

Заболеваемость туберкулезом крупного рогатого скота была 9,7 %, лептоспирозной инфекцией у крупного рогатого скота она составила 4,3 %, у поголовья свиней – 1,6 % [11].

Это свидетельствует о том, что несмотря на проводимые профилактические мероприятия, фактор вирусоносительства, бактерионосительства остается в значительной степени негативным показателем в диагностике болезней животных.

ВЫВОДЫ

1. Создание единой государственной системы ветеринарного надзора на основе современных методов диагностики, индикации и идентификации возбудителей инфекционных болезней животных позволит:

– предотвратить занос и распространение опасных инфекционных болезней животных, что, в свою очередь, позволит в короткие сроки определять этиологический агент, максимально снижать социально-экономический ущерб при возникновении эпизоотий и быстро ликвидировать последствия;

– внедрить непрерывный эпизоотологический мониторинг за динамикой заболеваний и экологической оценкой окружающей среды, что поможет охранять территорию Российской Федерации от заноса и распространения заразных болезней животных, поддерживать ветеринарное благополучие;

– разработать и внедрить в практику систему диагностики, соответствующую международным стандартам.

2. Разработка алгоритмов оценки численности охвата вакцинацией количества поголовья животных, внедрение учета вакцинирующих и ревакцинирующих прививок, а также регистрация заболеваемости привитых и непривитых животных даст возможность:

– проводить эпизоотологический мониторинг в выявленных очагах заболеваний и принимать меры по их локализации и ликвидации;

– оценивать иммунологическую и эпизоотологическую эффективность вакцинопрофилактики и ее влияние на заболеваемость животных;

– предотвращать распространение заразных болезней животных, а также заноса новых, редких, ранее не встречающихся на территории Российской Федерации.

3. Совершенствование методов мониторинга, детекции и идентификации возбудителей инфекций, в том числе их атипичных форм, поможет улучшить ветеринарный и санитарно-эпидемиологический надзор и профилактику инфекционных болезней.

4. Внедрение и использование программно-целевого метода профилактики и оздоровительных ветеринарных мероприятий предполагает комплекс взаимосвязанных технических, организационных, технологических, экологических и хозяйственных мероприятий с финансовым, материально-техническим, научным и информационным обеспечением. Это сделает возможным достигнуть поставленных целей путем последовательного решения конкретных задач.

5. Взаимодействие органов ветеринарного и санитарно-эпидемиологического надзора, а также исполнительной власти по вопросам профилактики заразных болезней, общих для человека и животных, предоставит возможность разрабатывать и проводить комплексные мероприятия по предупреждению и ликвидации загрязнения патогенными микроорганизмами окружающей среды.

6. Изучение и соблюдение российских и международных требований в части контроля особо опасных и социально значимых инфекционных болезней животных (правила, методические указания, рекомендации, инструкции, международные стандарты и другие нормативные документы) позволит:

– совершенствовать профессиональную компетентность, так как обновление теоретических и

практических знаний специалистов ветеринарной службы поможет освоить современные методы, правила и требования по контролю инфекционных болезней животных;

– разрабатывать и проводить мероприятия по профилактике и ликвидации инфекционных болезней животных, а также осуществлять ветеринарный контроль при их разведении, выращивании, содержании и транспортировании;

– контролировать безопасность продукции животного происхождения в процессе ее производства на различных этапах производственного процесса.

7. Тенденции совершенствования мер по профилактике социально значимых болезней животных должны заключаться в разработке противоэпизоотических мероприятий с учетом знаний эпизоотической обстановки и многолетних данных развития эпизоотического процесса по каждой инфекционной болезни в конкретной местности. Ключевыми мероприятиями в соблюдении ветеринарной безопасности должны оставаться профилактическая вакцинация животных и контроль над соблюдением ветеринарных норм всеми участниками: от личных подсобных хозяйств до животноводческих комплексов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кашко Л.С.* Общая эпизоотология с ветеринарной санитарией: учеб. пособие. – Смоленск, 2023. – 171 с.
2. *Эпизоотология с микробиологией*: учеб. / А.С. Алиев, Ю.Ю. Данко, И.Д. Ещенко [и др.]; под редакцией В.А. Кузьмина, А.В. Святковского. – СПб., 2019. – 432 с.
3. *Основы общей эпизоотологии* / Под ред. акад. Россельхозакадемии И.А. Бакулова и А.С. Донченко. – М., 2008. – 264 с.
4. *Корякина Л.П., Никитина А.А.* Особенности проявления лептоспироза у свиней и других видов животных в Якутии // Вестник АГАТУ. – 2022. – № 1 (5). – С. 1–7.
5. *Транквилевский Д.В.* Об инфицированности мелких млекопитающих возбудителями зоонозов в Российской Федерации // Здоровье населения и среда обитания. – 2016. – № 10. – С. 53–56.
6. *Никитина А.А., Корякина Л.П.* Этиологическая структура лептоспир, циркулирующих в популяциях сельскохозяйственных животных в Якутии // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 3 (64). – С. 111–117. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-64-3-111-117.
7. *Горковенко Н.Е., Макаров Ю.А.* Мониторинг циркуляции лептоспир в популяции крупного рогатого скота и дикой фауне Приамурья // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 125 (01). – С. 464–473. – DOI: 10.21515/1990-4665-125-031.
8. *Практическое пособие по мониторингу бруцеллеза, туберкулеза, паратуберкулеза и лейкоза крупного рогатого скота: организационно-хозяйственные, ветеринарно-санитарные и зоогигиенические аспекты профилактики и ликвидации этих инфекций* / Под ред. академика РАН М.И. Гулюкина. – М., 2014. – 74 с.
9. *Родионов С.В., Скороходов Ю.М.* Связь заболеваемости крупного рогатого скота туберкулезом и бруцеллезом с солнечной активностью // Ветеринария – 1993. – № 5. – С. 29–32.
10. *Сочнев В.В., Сторунова И.П., Демина Е.А.* Научно обоснованная система противобруцеллезных мероприятий Нечерноземной зоне РСФСР // Рекомендации. – М., 1991. – 27 с.
11. *Сводные картографические данные хронологии неблагополучия в Российской Федерации по особо опасным и экономически значимым болезням животных [Электронный ресурс]*. – Режим доступа: <http://www.fsups.gov.ru>, свободный. (дата обращения: 03.02.2025).

REFERENCES

1. Kashko L.S., *Obshchaya epizootologiya s veterinarnoj sanitarijej* (General epizootology with veterinary sanitation), Smolensk, 2023, 171 p.
2. Aliev A.S., Danko Yu.Yu., Eshchenko I.D. [i dr.], *Epizootologiya s mikrobiologiej* (Epizootology with microbiology), pod red. V.A. Kuz'mina, A.V. Svyatkovskogo, Sankt-Peterburg, 2019, 432 p.
3. *Osnovy obshchej epizootologii* (Fundamentals of General Epizootology), Pod red. akad. Rossel'hozakademii I.A. Bakulova i A.S. Donchenko, Moscow, 2008, 264 p.
4. Koryakina L.P., Nikitina A.A., *Vestnik AGATU*, 2022, No. 1 (5), pp. 1–7. (In Russ.)
5. Trankvilevskij D.V., *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2016, No. 10 (283), pp. 53–56. (In Russ.)
6. Nikitina A.A., Koryakina L.P., *Vestnik NGAU*, 2022, No. 3 (64), pp. 111–7, DOI: 10.31677/2072-6724-2022-64-3-111-117. (In Russ.)
7. Gorkovenko N.E., Makarov Yu.A., *Nauchnyj zhurnal KubGAU*, 2017, No. 125 (01), 464–473, DOI: 10.21515/1990-4665-125-031. (In Russ.)
8. *Prakticheskoe posobie po monitoringu brucelleza, tuberkuleza, paratuberkuleza i lejkoza krupnogo rogatogo skota: organizacionno-hozyajstvennye, veterinarno-sanitarnye i zoogigienicheskie aspekty profilaktiki i likvidacii etih infekcij* (Practical guide to monitoring brucellosis, tuberculosis, paratuberculosis and bovine leukemia: organizational, economic, veterinary, sanitary and zoohygienic aspects of the prevention and elimination of these infections), Pod red. akademika RAN M.I. Gulyukina, Moscow, 2014, 74 p. (In Russ.)
9. Rodionov S.V., Skorohodov Yu.M., *Veterinariya*, 1993, No. 5, pp.29–32. (In Russ.)
10. Sochnev V.V., Storunova I.P., Demina E.A., *Nauchno-obosnovannaya sistema protivobrucelleznyh meropriyatij Nechernozemnoj zone RSFSR* (Scientifically based system of anti-brucellosis measures in the Non-Black Earth Zone of the RSFSR), Moscow, 1991, 27 p.
11. *Oficial'nyj sajt Rossel'hoznadzora. Svodnye kartograficheskie dannye hronologii neblagopoluchiya v Rossijskoj Federacii po osobo opasnym i ekonomicheski znachimym boleznyam zhivotnyh* (Summary cartographic data on the chronology of problems in the Russian Federation for particularly dangerous and economically significant animal diseases): <http://www.fsups.gov.ru>. (In Russ.)

Информация об авторах:

Л.Я. Юшкова, доктор ветеринарных наук, профессор
 А.С. Донченко, доктор ветеринарных наук, академик РАН
 Г.М. Стеблева, кандидат ветеринарных наук, доцент
 А.В. Юдаков, кандидат ветеринарных наук
 И.В. Мельцов, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры

Contribution of the authors:

L.Ya. Yushkova, Doctor of Veterinary Sciences, Professor
 A.S. Donchenko, Doctor of Veterinary Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences
 G.M. Stebleva, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor
 A.V. Yudakov, Candidate of Veterinary Sciences
 I.V. Meltsov, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department

Вклад авторов:

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

К 70-ЛЕТИЮ Л.Н. КОРОБОВОЙ



30 сентября 2025 года исполнилось 70 лет со дня рождения Ларисы Николаевны Коробовой, доктора биологических наук, профессора, заслуженного деятеля науки, выдающегося ученого-эколога и микробиолога, талантливого педагога.

После блестящего окончания Воронежского государственного университета Лариса Николаевна связала свою судьбу с аграрной наукой Сибири, начав работу в Сибирском НИИ земледелия и химизации. Успешно завершив аспирантуру во Всесоюзном НИИ сельскохозяйственной микробиологии, она в 1985 году защитила кандидатскую, а в 2007 году – докторскую диссертацию по специальности «экология», став одним из ведущих специалистов в своей области.

С 1995 года педагогический талант Ларисы Николаевны раскрылся в Новосибирском государственном аграрном университете на кафедре агроэкологии и микробиологии, где она прошла путь от доцента до профессора. Ею разработаны авторские рабочие программы и курсы по десяти экологическим дисциплинам. Под ее чутким и мудрым руководством выполнено более шестидесяти дипломных работ. Активная международная деятельность Ларисы Николаевны способствовала укреплению научно-образовательных связей: в рамках программы академической мобильности Министерства образования и науки Республики Казахстан она читала лекции в Семипалатинском государственном университете им. Шакарима (г. Семей) и Костанайском государственном университете им. А. Байтурсынова (г. Костанай). Кроме того, ее экспертиза была востребована в Китайском сельскохозяйственном университете (г. Пекин) в рамках совместного соглашения с БелГУ.

Научно-исследовательская деятельность Л.Н. Коробовой посвящена актуальнейшим проблемам биологии и здоровья почв, повышения устойчивости сельскохозяйственных культур к стрессам. В последние годы ученый активно занимается поиском экологически безопасных средств защиты растений. Лариса Николаевна является автором и соавтором более 220 научных работ, включая публикации в центральных и

зарубежных изданиях, учебные пособия и монографии. Ею получен патент на изобретение, а научно-методические рекомендации утверждены НТС МСХ РФ. Результаты ее исследований были успешно реализованы в рамках грантов МСХ, РФФИ и РНФ.

Международное признание и производственное внедрение результатов работ Ларисы Николаевны подтверждается ее активным участием в крупных научно-производственных проектах. Она внесла значительный вклад в проект RUDECO «Развитие сельских территорий и экология», а также в проект SAGRIS, направленный на совершенствование послевузовской подготовки в сфере устойчивого сельского хозяйства. Важным направлением стала ее многолетняя консультационная работа по повышению квалификации специалистов и руководителей предприятий сельского хозяйства в Казахстане (АПК «Костанай», 2008–2012 гг.), а также долгосрочное сотрудничество с Костанайским государственным университетом им. А. Байтурсынова в рамках государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан.

Л.Н. Коробова ведет активную научно-организационную работу, являясь председателем диссертационного совета Д 999.108.02. Она осуществляла руководство лабораторией в Сибирском физико-техническом институте аграрных проблем СО Россельхозакадемии.

Профессиональные заслуги Ларисы Николаевны отмечены грамотами Россельхозакадемии, губернатора и министерства сельского хозяйства Новосибирской области.

Лариса Николаевна – уникальный наставник, щедро делящийся знаниями со студентами, аспирантами и коллегами. Под ее руководством защитили кандидатские диссертации два аспиранта, а также успешно завершил обучение докторант Костанайского государственного университета. Она не просто передает знания, но и воспитывает в молодых ученых самостоятельность мышления и глубокий интерес к научному поиску.

Коллектив Новосибирского государственного аграрного университета, коллеги и ученики от всей души поздравляют Ларису Николаевну с юбилеем! Желаем крепкого здоровья, неиссякаемой жизненной энергии, благополучия, вдохновения и новых ярких научных побед! Пусть Ваша деятельность и впредь способствует развитию аграрной науки и образованию!

Петров Андрей Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, директор института фундаментальных и прикладных агробиотехнологий

Риксен Вера Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Гаврилец Татьяна Владимировна, кандидат биологических наук, доцент

Побеленская Анастасия Андреевна, соискатель

Кизимова Татьяна Алексеевна, соискатель

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

