

ISSN 2072-9081 (print)
ISSN 2500-1396 (online)

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

Научный журнал
Федерального аграрного
научного центра
Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого



Том 25
№ 2
2024

Vol. 25
No. 2
2024

© Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»
(ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) 610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а

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

Регистрационный номер
ПИ №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

Цель журнала – публикация и распространение результатов фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых по научному обеспечению сельского и охотничьего хозяйств при приоритетном освещении проблем рационального природопользования и адаптации агроэкосистем северных территорий к меняющимся климатическим условиям.

Целевая аудитория – научные работники, преподаватели, аспиранты, докторанты, магистранты, специалисты АПК из России, стран СНГ и дальнего зарубежья.

Рубрики журнала:

- ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ
- ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ (Растениеводство. Защита растений. Сельскохозяйственная микробиология и микология. Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции. Земледелие, агрохимия, мелиорация. Кормопроизводство: полевое и луговое, кормление сельскохозяйственных животных. Зоотехния. Ветеринарная медицина. Звероводство, охотоведение. Механизация, электрификация, автоматизация. Экономика.)
- ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
- РЕЦЕНЗИИ
- ХРОНИКА

Контент доступен
под лицензией Creative
Commons Attribution 4.0
License



Главный редактор – Сысуйев Василий Алексеевич, д.т.н., профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, научный руководитель ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Зам. главного редактора – Рубцова Наталья Ефимовна, к.с.-х.н., доцент, зав. научно-организационным отделом ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Ответственные секретари: Соболева Наталия Николаевна, инженер по НТИ научно-организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия,
Агалакова Татьяна Владимировна – к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории ветеринарной иммунологии, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Редакционный совет

Андреев Николай Руфеевич	д.т.н., чл.-корр. РАН, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», г. Москва, Россия
Багиров Вугар Алиевич	д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Минобрнауки России, г. Москва, Россия
Баталова Галина Аркадьевна	д.с.-х.н., профессор, академик РАН, зам. директора по селекционной работе, зав. отделом овса ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия
Гурьянов Александр Михайлович	д.с.-х.н., профессор, директор Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, Россия
Дёгтева Светлана Владимировна	д.б.н., чл.-корр. РАН, директор ФИЦ Коми научный центр УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия
Джавадов Эдуард Джавадович	д.в.н., заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, профессор кафедры эпизоотологии им. В. П. Урбана ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», г. Санкт-Петербург, Россия
Дидманидзе Отари Назирович	д.т.н., профессор, академик РАН, зав. кафедрой тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Россия
Домский Игорь Александрович	д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия
Еремин Сергей Петрович	д.в.н., профессор, заведующий кафедрой частной зоотехнии, разведения с.-х. животных и акушерства ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия
Иванов Дмитрий Анатольевич	д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель – филиала ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Тверь, Россия
Казакевич Пётр Петрович	д.т.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, зам. председателя Президиума НАН Беларуси, иностранный член РАН, г. Минск, Республика Беларусь
Косолапов Владимир Михайлович	д.с.-х.н., профессор, академик РАН, научный руководитель ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», г. Москва, Россия
Костяев Александр Иванович	д.э.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, руководитель отдела экономических и социальных проблем развития региональных АПК и сельских территорий Института аграрной экономики и развития сельских территорий – структурного подразделения ФГБНУ «Санкт-Петербургский ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия
Куликов Иван Михайлович	д.э.н., профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», г. Москва, Россия
Леднев Андрей Викторович	д.с.-х.н., доцент, главный научный сотрудник, руководитель Удмуртского НИИСХ – структурного подразделения ФГБНУ «Удмуртский ФИЦ УрО РАН», г. Ижевск, Россия
Никонова Галина Николаевна	д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, руководитель отдела прогнозирования трансформации экономических структур и земельных отношений Института аграрной экономики и развития сельских территорий – структурного подразделения ФГБНУ «Санкт-Петербургский ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия
Пашкина Юлия Викторовна	д.в.н., профессор, и.о. зав. кафедрой эпизоотологии, паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия

**Журнал включен
в Перечень рецензируемых
научных изданий,
в которых должны быть
опубликованы основные
научные результаты
диссертаций на соискание
ученых степеней
кандидата и доктора наук**

Журнал включен в базы данных
РИНЦ, ВИНТИ, AGRIS,
Russian Science Citation Index
(RSCI) на ведущей мировой
платформе Web of Science,
BASE, Dimensions,
Ulrich's Periodicals Directory,
DOAJ, EBSCO

Полные тексты статей
доступны на сайтах электронных
научных библиотек:
eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>;
ЭНЦХБ:
<http://www.cnsnb.ru/elbib.shtm>;
CYBERLENINKA:
<https://cyberleninka.ru/>;
журнала:
<http://www.agronauka-sv.ru>

Оформить подписку можно на
сайте "Объединенного каталога
"Пресса России" www.ppressa-rf.ru
по подписному индексу 58391,
а также подписаться через
интернет-магазин «Пресса по
подписке» <https://www.akc.ru>
Электронная версия журнала:
<http://www.agronauka-sv.ru>

Адрес издателя и редакции:

610007, г. Киров,
ул. Ленина, 166а,
тел./факс (8332) 33-10-25;
тел. (8332) 33-07-21

www.agronauka-sv.ru

E-mail:
agronauka-esv@fanc-sv.ru

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочигова

Макет обложки
Н. Н. Соболева

На первой странице
обложки
фото А. А. Широких

Подписано к печати
22.04.2024

Дата выхода в свет
02.05.2024

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 18,60.

Тираж 100 экз. Заказ 12.
Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

Адрес типографии:

ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока
610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а

Савченко
Иван Васильевич

Самodelкин
Александр
Геннадьевич

Сисягин
Павел Николаевич
Титова
Вера Ивановна

Токарев
Антон Николаевич

Урбан
Эрома Петрович

Пой
Юрий Алексеевич
Широких
Ирина Геннадьевна

Щенникова
Ирина Николаевна

Changzhong Ren

Ivanovs Semjons

Marczuk Andrzej

Náhlík András

Poutanen Kaisa

Romaniuk Wazlaw

Yu Li

Алешкин Алексей
Владимирович

Артемьев Андрей
Александрович

Брандорф
Анна Зиновьевна
Бурков Александр
Иванович

Егошина Татьяна
Леонидовна

Ивановский
Александр
Александрович

Костенко Ольга
Владимировна

Рябова Ольга
Вениаминовна

Савельев
Александр
Павлович

Товстик Евгения
Владимировна

Филатов
Андрей Викторович

Шешегова
Татьяна Кузьмовна

Юнусов Губейдулла
Сияттулович

д.б.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела
растительных ресурсов, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт лекарственных и ароматических растений», г. Москва, Россия
д.б.н., профессор, руководитель аграрно-экологического направления
АНО «Нижегородский научно-образовательный центр», г. Нижний Новго-
род, Россия

д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный
агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия
д.с.-х.н., заслуженный деятель науки РФ, профессор, зав. кафедрой агрохимии
и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехно-
логический университет», г. Нижний Новгород, Россия

д.в.н., доцент, зав. кафедрой ветеринарно-санитарной экспертизы
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины», г. Санкт-Петербург, Россия

д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, заместитель генерального
директора по научной работе РУП «Научно-практический центр
НАН Беларуси по земледелию», г. Жодино, Республика Беларусь

д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник ФГБНУ
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия
д.б.н., главный научный сотрудник, зав. лабораторией биотехнологии растений
и микроорганизмов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

д.с.-х.н., доцент, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, зав. лабораторией
селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ ФАНЦ Северо-
Востока, г. Киров, Россия

Президент Байченской академии сельскохозяйственных наук (КНР),
иностраный член РАН, г. Байчен, Китай

д.т.н., Латвийский университет естественных наук и технологий,
г. Елгава, Латвия

д.т.н., профессор, декан факультета Люблинского природоведческого
университета, г. Люблин, Польша

профессор, ректор, Университет Шопрона, Институт охраны дикой
природы и зоологии позвоночных, г. Шопрон, Венгрия

профессор VTT технического исследовательского центра Финляндии,
г. Эспоо, Финляндия

д.т.н., профессор, Технолог-природоведческий институт, г. Варшава, Польша

профессор, научный руководитель Цилинского аграрного университета,
иностраный член РАН, член инженерной академии наук Китая,
г. Чанчунь, Китай

Редакционная коллегия

д.т.н., профессор, профессор кафедры механики и инженерной графики
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Россия

д.с.-х.н., доцент, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией координатного
земледелия, зам. директора по научной работе, Мордовский НИИ сельского
хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-
Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Саранск, Республика Мордовия, Россия

д.с.-х.н., ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией пчеловодства
ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

д.т.н., профессор, заслуженный изобретатель РФ, главный научный сотру-
дник лаборатории зерно- и семяочистительных машин ФГБНУ ФАНЦ Се-
веро-Востока, г. Киров, Россия

д.б.н., профессор, зав. отделом экологии и ресурсосведения ФГБНУ
«Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства
и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия

д.в.н., ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией ветеринарной
биотехнологии ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

к.э.н., доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета и финансов
ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет»,
г. Киров, Россия

к.б.н., доцент кафедры микробиологии ФГБОУ ВО «Пермская государствен-
ная фармацевтическая академия», г. Пермь, Россия

д.б.н., главный научный сотрудник отдела экологии животных ФГБНУ
«Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства
и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия

к.б.н., доцент, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения
химии, старший научный сотрудник Центра компетенций «Экологические
технологии и системы» ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
г. Киров, Россия

д.в.н., профессор кафедры зоогигиены, физиологии и биохимии
ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет»,
г. Киров, Россия

д.б.н., старший научный сотрудник, зав. лабораторией иммунитета
и защиты растений ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

д.т.н., профессор кафедры механизации производства и переработки с.-х.
продукции Аграрно-технологического института ФГБОУ ВО «Марийский
государственный университет», г. Йошкар-Ола, Россия

© The founder of the journal is Federal Agricultural Research Center
of the North-East named N.V. Rudnitsky, 610007, Kirov, Lenin str., 166a

The publication is registered
by the Federal Service for
Supervision of Communications,
Information Technology and
Mass Media

Registration number
PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

Aim of the Journal – publication and distribution of results of fundamental and applied researches conducted by native and foreign scientists for scientific support of agricultural and hunting sectors, with focus on the problems of rational use of natural resources and adaptation of agroecosystems of northern territories to changing climatic conditions.

Target audience – scientists, university professors, graduate students, postdoctoral, masters, specialists of agro-industrial complex from Russia, countries of CIS and far-abroad countries.

Headings

- REVIEWS
- ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES
(Plant Growing. Plant protection. Agricultural Microbiology and Mycology. Storage and Processing of Agricultural Production. Agriculture, Agrochemistry, Land Improvement. Fodder Production: Field and Meadow; Livestock Feeding. Zootechny. Veterinary Medicine. Fur Farming and Hunting. Mechanization, Electrification, Automation. Economy)
- DISCUSSION PAPERS
- PEER-REVIEWS
- CHRONICLE

All the materials of the
«Agricultural Science Euro-North-East» journal are available
under Creative Commons
Attribution 4.0 License



Editor-in-chief – Vasily A. Sysuev, Dr. of Sci. (Engineering), the professor, academician of RAS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, academic advisor of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Deputy editor-in-chief – Natalya E. Rubtsova, Cand. of Sci. (Agricultural), associate professor, Head of the Science and Organization Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

The responsible secretaries: Natalia N. Soboleva, engineer of scientific and technical information, the Science and Organization Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia,

Tatyana V. Agalakova, Cand. of Sci. (Biology), senior researcher at the laboratory veterinary immunology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Editorial council

Nikolay R. Andreev Dr. of Sci. (Engineering), corresponding member of RAS, Academic advisor of the All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow, Russia

Vugar A. Bagirov Dr. of Sci. (Biology), professor, corresponding member of RAS, Director of the Department of Coordination of Organizations in the Field of Agricultural Sciences of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, Russia

Galina A. Batalova Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the deputy Director on selection work, the head of Department of oats of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Alexander M. Guryanov Dr. of Sci. (Agricultural), professor, Director of Mordovia Agricultural Research Institute –Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Saransk, Russia

Svetlana V. Degteva Dr. of Sci. (Biology), corresponding member of RAS, the Director of the Federal Research Center Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

Eduard D. Dzhavadov Dr. of Sci. (Veterinary), Honored Worker of Science of the Russian Federation, academician of RAS, professor at the Department of Epizootology named after V.P. Urban, Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia

Otari N. Didmanidze Dr. of Sci. (Engineering), professor, academician of RAS, Acting Head of the Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia

Igor A. Domskiy Dr. of Sci. (Veterinary), professor, corresponding member of RAS, Director at Professor Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia

Sergey P. Eremin Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Head of the Department of Small Animal Science, Breeding of Farm Animals and Obstetrics of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia

Dmitriy A. Ivanov Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of RAS, chief researcher of the All-Russian Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Tver, Russia

Petr P. Kazakevich Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy Chairman of Presidium of Belarus NAS, a foreign member of RAS, Minsk, Republic of Belarus

Vladimir M. Kosolapov Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the Academic advisor of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Moscow, Russia

Aleksandr I. Kostjaev Dr. of Sci. (Economics), professor, academician of RAS, chief researcher, Chief of the Department of Economic and Social Problems of the Development of Regional Agro-Industrial Complex and Rural Territories the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Ivan M. Kulikov Dr. of Sci. (Economics) professor, academician of RAS, Director of the Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia

Andrei V. Lednev Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, head of Udmurt Research Institute of Agriculture – Branch of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

Galina N. Nikonova Dr. of Sci. (Economics), professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Chief of the Department of Forecasting Changes in Economic Structures and Land Relations of the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Yulia V. Pashkina Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the acting head at the Department of Epizootology, Parasitology and Veterinary-Sanitary Inspection of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia

The Journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications, where research results from «Candidate of Science» and «Doctor of Science» academic degree dissertations have to be published

The journal is included into Russian Index of Science Citation (RINC), AGRIS, Russian Science Citation Index (RSCI) on the world's leading platform Web of Science, BASE, Dimensions, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, EBSCO

The full texts of articles are available on the websites of the following journals and scientific electronic libraries: eLIBRARY.RU, Electronic Scientific Agricultural Library, CYBERLENINKA, Google Scholar

The journal is included into Russian Index of Science Citation (RINC), Abstract journal and databases of All-Russian Institute of Scientific and Technical Information

One can subscribe for the print edition of the journal «Agricultural Science Euro-North-East» at the site of the Union catalogue «Press of Russia» www.pressa-rf.ru by the index 58391 or via the Internet shop «Pressa po Podpiske (Press by subscription)» <https://www.akc.ru>

Electronic version of the journal: <http://www.agronauka-sv.ru>

Publisher and editorial address:
610007, Kirov, Lenin str., 166a,
tel./fax (8332) 33-10-25;
tel. (8332) 33-07-21

www.agronauka-sv.ru

E-mail: agronauka-esv@fanc-sv.ru

Technical edition, layout
Irina V. Kodochigova

Cover layout
Natalia N. Soboleva

On the first page of the cover
photo A. A. Shirokikh

Passed for printing
22.04.2024

Date of publication
02.05.2024

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pecs. 1. 18,60.
Circulation 100 copies. Order 12.
Free price.

Address of the printing house:
FGBNU FARC North-East. 610007,
Kirov, Lenin str., 166a

Ivan V. Savchenko	Dr. of Sci. (Biology), the professor, academician of RAS, chief researcher All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia
Alexander G. Samodelkin	Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the agricultural and Environmental direction of the Nizhny Novgorod Scientific and Educational Center, Nizhny Novgorod, Russia
Pavel N. Sisyagin	Dr. of Sci. (Veterinary), the professor, corresponding member of RAS, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia
Vera I. Titova	Dr. of Sci. (Agricultural), Honored Worker of Science of the Russian Federation, professor, Head of the Department of Agrochemistry and Agroecology of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia
Anton N. Tokarev	Dr. of Sci. (Veterinary), associate professor, Head of the Department of Veterinary-Sanitary Inspection Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia
Eroma P. Urban	Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy General Director for Research, Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Zhodino, Republic of Belarus
Yuriy A. Tsoy	Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of RAS, chief researcher of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
Irina G. Shirokikh	Dr. of Sci. (Biology), chief researcher, Head of the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
Irina N. Shchennikova	Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Head of the Laboratory of Selection and Primary Seed Breeding of Barley of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
Changzhong Ren	President of the Baicheng Academy of Agricultural Sciences (China), a foreign member of RAS, Baicheng, China
Semjons Ivanovs	Dr. of Sci. (Engineering), Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia
Andrzej Marczuk	Dr. of Sci. (Engineering), professor, dean, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland
András Náhlik	The professor, rector, University of Sopron, Institute of Wildlife Management and Vertebrate Zoology, Sopron, Hungary
Kaisa Poutanen	Dr. of Sci. (Engineering), Academy Professor, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland
Vaclav Romaniuk	Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Technology and Life Sciences, Falenty, Poland
Li Yu	professor, chief scientific officer, Jilin Agricultural University, foreign member of RAS, member of the Chinese Academy of Sciences, Changchun, China

Editorial Board

Aleksey V. Aleshkin	Dr. of Sci. (Engineering), professor, the Department of Mechanics and Engineering Drawing, Vyatka State University, Kirov, Russia
Andrey A. Artemjev	Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, leading researcher, head coordinate farming laboratory, principal director of scientific research, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agrarian Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Saransk, Republic of Mordovia, Russia
Anna S. Brandorf	Dr. of Sci. (Agricultural), leading researcher, head of the Laboratory of Beekeeping, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
Alexander I. Burkov	Dr. of Sci. (Engineering), professor, chief researcher of the Laboratory of Grain- and Seed-Cleaning Machines, the Honored Inventor of the Russian Federation, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
Tatyana L. Egoshina	Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the Department of Ecology and Resource Management, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia
Alexander A. Ivanovsky	Dr. of Sci. (Veterinary), leading researcher, head of the Laboratory of Veterinary Biotechnology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
Olga V. Kostenko	Cand. of Sci. (Economics), associate professor, associate professor at the Department of Accounting and Finance, Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
Olga V. Ryabova	Cand. of Sci. (Biology), associate professor at the Department of Microbiology, Perm State Pharmaceutical Academy, Perm, Russia
Alexander P. Saveljev	Dr. of Sci. (Biology), chief researcher, the Department of Animal Ecology, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia
Evgeniya V. Tovstik	Cand. Sci. (Biology), associate professor at the Department of Basic Chemistry and Chemistry Training Methodology, senior researcher at the Center of Competence and Environmental Technologies and Systems, Vyatka State University, Kirov, Russia
Andrey V. Filatov	Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the Department of Zoological Hygiene, Physiology and Biochemistry, Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
Tatyana K. Sheshhegova	Dr. of Sci. (Biology), senior researcher, head of the Laboratory of Immunity and Plants Protection, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
Gubeidulla S. Junusov	Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Agricultural Technologies of Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

Г. А. Лиходеевский, П. С. Богатова, О. Е. Лиходеевская

Бактериальная микробиота желудочно-кишечного тракта крупного рогатого скота молочного направления: состав, функции, значение (обзор)..... 159

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова, Е. И. Уткина

Иммунологическая структура и урожайность сортов озимой ржи селекции
Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого..... 172

Т. И. Александрова

Влияние некорневых подкормок на урожайность и качество плодов сливы сорта Великая синяя
в аридных условиях Северного Прикаспия..... 181

М. Г. Маркова, Е. Н. Сомова

Оптимизация клонального микроразмножения косточковых культур..... 189

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Л. И. Пимохова, Г. Л. Яговенко, Ж. В. Царапнева, Н. В. Мисникова

Перспективный фунгицид для защиты люпина узколистного от болезней в период вегетации..... 198

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

Д. С. Фомин, С. С. Полякова, Дм. С. Фомин

Продуктивность севооборотов с разными видами пара и их влияние на содержание гумуса
в дерново-подзолистой почве Среднего Предуралья..... 207

Е. Н. Володина, В. И. Титова, Д. А. Кириллова

Влияние птичьего помета на урожайность и структуру урожая ярового рапса..... 216

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ

Н. И. Касаткина, Ж. С. Нелюбина

Продуктивность и питательная ценность многолетних злаковых трав в Среднем Предуралье..... 227

ЗООТЕХНИЯ

Т. Е. Денискова, О. А. Кошкина, С. Н. Петров, А. А. Сермягин, Н. А. Зиновьева

Идентификация генов-кандидатов, связанных с ростом и развитием овец из кроссбредной
популяции, с использованием полногеномного поиска ассоциаций..... 236

Т. А. Куевда, Д. В. Зубоченко, П. С. Остапчук, Е. Ф. Мягих, М. А. Ахрамеева,

Л. Н. Рейништейн, Т. П. Сатаева, О. Н. Постникова, Л. А. Шевкопляс

Применение *Origanum vulgare* L. при напольном содержании цыплят как элемента органического
птицеводства..... 251

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

А. А. Ивановский

Влияние фитобиотика с экстрактом *F. ulmaria* и лактобактериями на клинико-физиологический
статус телят..... 264

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

В. А. Сысуев, С. Л. Дёмишин, С. В. Гайдидей, Д. А. Зырянов

Результаты сравнительного исследования сошниковых групп сеялки полосного посева семян трав
в дернину..... 273

Н. И. Воробьев, А. К. Лысов, Т. В. Корнилов, А. В. Хютти

Вычислительная нейросеть для обработки светоотражательных спектров растений
и дистанционного фитосанитарного мониторинга картофеля..... 283

П. А. Савиных, Н. В. Турубанов, А. Ю. Исупов

Определение оптимальных технологических параметров горизонтального смесителя рассыпных
комбикормов..... 293

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

В. Ф. Второй, С. В. Второй

Развитие механизации молочного скотоводства в России и Советском Союзе в первой половине XX века.. 301

ЮБИЛЕИ

Юбилей Лидии Михайловны Колбиной..... 311

К 70-летию юбилею Александра Михайловича Гурьянова..... 312

CONTENTS

REVIEWS

- Georgy A. Lihodeevsky, Polina S. Bogatova, Oksana E. Lihodeevskaya*
The bacterial microbiota of the gastrointestinal tract of dairy cattle: structure, functions, importance (review)..... 159

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

- Lucia M. Shchekleina, Tatyana K. Sheshegova, Elena I. Utkina*
Immunological structure and yield of winter rye varieties bred by the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky..... 172

- Tatiana I. Alexandrova*
The effect of non-root fertilizing on the yield and quality of plum fruits of the Velikaya sinyaya variety in arid conditions of the Northern Precaspian Sea..... 181

- Marina G. Markova, Elena N. Somova*
Optimization of clonal micropropagation of stone fruit crops..... 189

PLANT PROTECTION

- Ludmila I. Pimokhova, German L. Yagovenko, Zhanna V. Tsarapneva, Nadezhda V. Misnikova*
A perspective fungicide for protection of narrow-leaved lupin from diseases during the growth season..... 198

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

- Denis S. Fomin, Sofia S. Polyakova, Dmitry S. Fomin*
Productivity of crop rotations with different types of fallow and their effect on the humus content in sod-podzolic soil the Middle Urals..... 207

- Evgenia N. Volodina, Vera I. Titova, Daria A. Kirillova*
The influence of poultry manure on the yield and crop structure of spring rapeseed..... 216

FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW

- Nadezhda I. Kasatkina, Zhanna S. Nelyubina*
Productivity and nutritional value of perennial cereal grasses in the Middle Cis-Urals..... 227

ZOOTECHNY

- Tatiana E. Deniskova, Olga A. Koshkina, Sergey N. Petrov, Alexander A. Sermyagin, Natalia A. Zinovieva*
Identification of candidate genes associated with growth and development of sheep from a crossbred population using genome-wide association studies..... 236

- Tatyana A. Kuevda, Denis V. Zubochenko, Pavel S. Ostapchuk, Elena F. Myagkikh, Maria A. Ahrameeva, Lyudmila N. Reinstein, Tatiana P. Sataieva, Olga N. Postnikova, Ludmila A. Shevkoplyas*
Using *Origanum vulgare* L. in the floor management of chickens as an element of organic poultry farming.... 251

VETERINARY MEDICINE

- Alexander A. Ivanovsky*
The influence of a phytobiotic with *F. ulmaria* extract and lactobacilli on the clinical and physiological status of calves..... 264

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

- Vasiliy A. Sysuev, Sergey L. Demshin, Sergey V. Gaididei, Dmitry A. Zyryanov*
Results of a comparative study of coulter groups of a seeder for strip sowing of grass seeds in the sod..... 273

- Nikolay I. Vorobyov, Anatoly K. Lysov, Timur V. Kornilov, Alexander V. Hyutti*
Computational neural network for processing light-reflective spectra of plants and remote phytosanitary monitoring of potatoes..... 283

- Petr A. Savinyh, Nikolaj V. Turubanov, Aleksey Ju. Isupov*
Determination of optimal technological parameters of a horizontal mixer of loose compound feeds..... 293

PAGES OF HISTORY

- Valery F. Vtoryi, Sergei V. Vtoryi*
Development of mechanization of dairy cattle rearing in Russia and the Soviet Union in the first half of the twentieth century..... 301

JUBILEE

- Jubilee Lidia Mikhailovna Kolbin..... 311
Jubilee Alexander Mikhailovich Guryanov..... 312

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.159–171>

УДК 636.2.034:579.62



Бактериальная микробиота желудочно-кишечного тракта крупного рогатого скота молочного направления: состав, функции, значение (обзор)

© 2024. Г. А. Лиходеевский✉, П. С. Богатова, О. Е. Лиходеевская

ФГБОУ ВО Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

В обзоре представлен обобщенный материал экспериментальных исследований и обзорных работ (114 источников, в т. ч. 110 зарубежных) по изучению состава бактериальной микробиоты желудочно-кишечного тракта у крупного рогатого скота в зависимости от возраста, клинического состояния животных и уровня продуктивности, показано влияние функциональной активности микробиоты на формирование и развитие организма. Микробиота оказывает влияние на здоровье и продуктивные качества крупного рогатого скота. Наиболее важную роль играет бактериальное сообщество желудочно-кишечного тракта как элемент пищеварительной системы. Эта сложная система с обратной связью, где, с одной стороны, на микробиоту влияет генотип хозяина, кормовая база, условия содержания, тип выращивания, применяемые лекарственные препараты и т. д., а с другой – микробиота главным образом влияет на пластический и энергетический обмен, но также опосредованно затрагивает респираторную, выделительную, центральную нервную и иммунную системы организма. Бактериальное разнообразие закладывается ещё во внутриутробном периоде развития организма, претерпевает существенные изменения по мере взросления телёнка и остаётся лабильным на протяжении всей жизни, приспосабливаясь к изменяющимся условиям. Современные исследования заболеваний пищеварительной системы всё больше обращают внимание на состав микробного сообщества, указывая на опасность применения антибиотиков и необходимость перехода на пробиотическую и пребиотическую терапию. Продуктивные качества коров, например: удой, выход молочного жира и белка также зависят от состава микробиоты.

Ключевые слова: продуктивность, здоровье, расстройство пищеварения, рост и развитие крупного рогатого скота

Благодарности: работа выполнена в рамках тематического плана ФГБОУ ВО Уральский государственный аграрный университет без финансовой поддержки.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лиходеевский Г. А., Богатова П. С., Лиходеевская О. Е. Бактериальная микробиота желудочно-кишечного тракта крупного рогатого скота молочного направления: состав, функции, значение (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):159–171. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.159-171>

Поступила: 09.01.2024

Принята к публикации: 28.03.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

The bacterial microbiota of the gastrointestinal tract of dairy cattle: structure, functions, importance (review)

© 2024. Georgy A. Lihodeevsky✉, Polina S. Bogatova, Oksana E. Lihodeevskaya
Ural State Agricultural University, Ekaterinburg, Russian Federation

The review presents the generalized material of experimental studies and review works (114 sources, including 110 foreign) on studying the composition of bacterial microbiota of the gastrointestinal tract in cattle depending on age, clinical condition of animals and level of productivity, shows the influence of the functional activity of microbiota on the formation and development of the organism. The microbiota affects the health and productive qualities of dairy cattle. The bacterial community of the gastrointestinal tract plays a crucial role in the digestive system. This complex system with feedback, where on the one hand, the microbiota is influenced by the genotype of the host, feed base, living conditions, breeding methods, and drugs used, and on the other hand, the microbiota primarily affects plastic and energy metabolism, but also indirectly affects respiratory, urinary, central nervous, and immune systems of the body. Bacterial diversity is laid down during the fetal period, undergoes significant changes during calf growth, and remains stable throughout life, adapting to changing conditions. Modern studies of gastrointestinal diseases are increasingly focusing on the composition of the microbial community, pointing to the dangers of antibiotic use and the need for a transition to probiotic and prebiotic therapy. Productive qualities of cows, such as milk yield and fat and protein content, also depend on the composition of the microbiota.

Keywords: productivity, health, digestive disorders, growth and development of cattle

Acknowledgments: the research was carried out within the thematic plan of the Ural State Agrarian University unfunded. The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests.

For citation: Lihodeevsky G. A., Bogatova P. S., Lihodeevskaya O. E. The bacterial microbiota of the gastrointestinal tract of dairy cattle: structure, functions, importance (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):159–171. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.159-171>

Received: 09.01.2024

Accepted for publication: 28.03.2024 Published online: 24.04.2024

В процессе своей эволюции крупный рогатый скот, относящийся к подотряду Жвачные (*Ruminantia*), установил важные симбиотические отношения, так как является травоядным животным. Из-за невозможности самостоятельного переваривания растительной пищи позвоночными, по причине отсутствия необходимых ферментов, данная функция была возложена на микроорганизмы. Микробиота крупного рогатого скота представлена множеством различных клад: бактерии, археи, грибы, простейшие и вирусы (в основном представленные бактериофагами). Клетчатка и, в частности, целлюлоза переваривается целлюлозолитическими бактериями, и продукты её расщепления становятся субстратом для других микроорганизмов. Подобный пищеварительный каскад – основа здорового пищеварения, а также усвоения питательных веществ и энергии крупным рогатым скотом.

Состав микробиоты крупного рогатого скота достаточно лабилен и изменяется как в зависимости от этапа развития животного, так и от условий его содержания. Изменение режима кормления и типа корма также приводит к быстрому изменению состава микробиоты. Способность к быстрой адаптации микробиотического сообщества к разным условиям является одним из факторов, обеспечивающих поддержание продуктивности крупного рогатого скота. Однако, поскольку изменения состава происходят достаточно быстро, могут возникать дисбалансы, приводящие к нарушениям обмена веществ, сказывающимся на здоровье коров. Так, преобладание метаногенных бактерий приводит к вздутию рубца, в других случаях могут возникать ацидоз рубца, язва, диарея и т. п.

Исследование микробиома важная составляющая современного разведения, содержания и кормления крупного рогатого скота. Поскольку изменения в микробиоме способны помочь нам выращивать более здоровых и продуктивных животных.

Цель обзора – анализ опубликованных экспериментальных и обзорных исследований по изучению состава бактериальной микробиоты желудочно-кишечного тракта, его влияния на рост, развитие, подверженность заболе-

ваниям и продуктивные качества крупного рогатого скота молочного направления.

Материал и методы. Основными источниками литературы служили международные базы данных Киберленинка, PubMed и PubMed Central. В качестве поискового запроса использовали слова и словосочетания: бактериальная микробиота, крупный рогатый скот, желудочно-кишечный тракт, bacterial microbiota, dairy cattle, sire, calf, bull, feed, growth, rumen, gut, disease, diarrhea, milk productivity. Поисковые запросы были объединены в разных вариантах между собой и запрашивались для названий, аннотаций и ключевых слов. Также изучались публикации в списках литературы в найденных источниках. Были рассмотрены 76 экспериментальных работ и 38 обзорных статей авторов и исследовательских коллективов из России, США, Канады, Германии, Великобритании, Франции, Италии Швеции, Израиля, Казахстана, Китая и Австралии. Более половины всех источников информации опубликованы за последние пять лет 2018-2023.

Основная часть. Структура бактериального микробиома желудочно-кишечного тракта крупного рогатого скота. Желудочно-кишечный тракт представляет собой сложную систему, включающую множество различных органов, выполняющих определённые функции, для каждого из которых характерен определённый состав микробиоты и бактериальных сообществ, в частности.

Известно, что для позвоночных организмов такие характеристики отделов ЖКТ, как различный уровень кислорода [1], биодоступность витаминов и минералов [2], уровень кислотности [3], время прохождения продуктов пищеварения через ЖКТ [4], объём и состав желчных кислот [5] и слизи [6], а также состояние иммунитета животного [7] являются важными детерминантами микробного сообщества. При этом, с одной стороны, эти факторы влияют на микробиоту, а, с другой – микробиота влияет на них.

Бактерии составляют более 95 % всей микробиоты рубца при плотности 1010-1011 клеток/г содержимого рубца [8]. Общее количество бактерий, содержащихся в образцах

из слепой, ободочной и прямой кишки, находится в пределах от 1012 до 1014 клеток/мл [9].

Исследования микробиоты крупного рогатого скота голштинской породы, наиболее распространённой породы молочного направления [10], демонстрируют, что таксономические группы, представленные в желудочно-кишечном тракте, включают три основных типа *Firmicutes*, *Bacteroidetes* и *Proteobacteria*, на которые приходится более 90 % всего бактериального разнообразия [11, 12, 13]. Обилие и соотношение трёх этих типов, а также число микроорганизмов отличается в разных отделах ЖКТ и обычно увеличивается от проксимального к дистальному [14]. В преддверии желудка большее относительное содержание *Firmicutes* и *Bacteroidetes*, а в тонком и толстом кишечнике, кроме прямой кишки – *Firmicutes* и *Proteobacteria*. В тонком кишечнике, где транспортировка перевариваемых веществ происходит быстрее, преобладают факультативные анаэробы *Proteobacteria* и *Lactobacillales*, способные к быстрому делению и метаболизму простых сахаров и аминокислот [15]. В толстом кишечнике, наоборот, поток перевариваемых частиц медленнее, что, в свою очередь, способствует ферментации сложных полисахаридов, таких как клетчатка. Это приводит к увеличению видового разнообразия [16, 17] и доминированию сахаролитических порядков *Bacteroidales* и *Clostridiales*.

Тип *Firmicutes* встречается на всём протяжении ЖКТ и на него приходится более 27 % от общего обилия всех видов, составляющих микробиоту [18]. Тип представлен разными семействами и родами, обилие которых разнится в зависимости от отдела. Подавляющее большинство бактерий микробиоты желудка относится к семействам *Ruminococcaceae*, *Rikenellaceae*, *Christensenellaceae* и *Lachnospiraceae*, которые широко распространены в рубце и играют важную роль в деградации крахмала и клетчатки [19]. В бактериальном сообществе толстого кишечника преобладают представители родов *Clostridium*, *Turicibacter* и семейства *Peptostreptococcaceae*, суммарная их доля составляет до 70 %, а общая доля бактерий, принадлежащих типу *Firmicutes*, в кишечнике достигает 81 % [20]. Более поздние исследования также отмечают обилие *Clostridium*, *Turicibacter* в фекалиях, а рода *Butyrivibrio*, *Acetitomaculum*, *Dorea*, *Blautia*, *Coprococcus* (семейство *Lachnospiraceae*), *Ruminococcus* (семейство *Ruminococcaceae*),

Oscillospira, *Faecalibacterium* (семейство *Oscillospiraceae*), *Mitsuokella* (семейство *Selenomonadaceae*), *Succiniclasticum* (семейство *Acidaminococcaceae*) и некоторых представителей семейств *Lachnospiraceae* и *Rikenellaceae* в содержимом рубца [21, 22, 23].

Тип *Bacteroidetes* (*Bacteroidota*) чаще встречается в рубце, где более 50 % всего бактериального сообщества приходится на его представителей [11]. Наиболее многочисленный род – *Prevotella* занимает более 90 % бактериального разнообразия этого типа [19, 23]. Известно, что бактерии этого рода обладают ферментами, способными расщеплять гемицеллюлозы, а также крахмал до короткоцепочечных жирных кислот, таких как ацетат, пропионат, бутират и сукцинат [24, 25, 26]. Помимо этого, *Prevotella* один из немногочисленных бактериальных таксонов, участвующих в расщеплении олигопептидов до аминокислот [27]. Общее количество *Prevotella* в рубце у коров изменяется в зависимости от количества растительных волокон и концентрации белкового азота в корме [28, 29].

Стоит отметить, что бактерии родов *Prevotella* (тип *Bacteroidetes*) и *Ruminococcus* (тип *Firmicutes*) встречаются во множестве образцов различных исследований и, по-видимому, являются общими для здоровой микробиоты крупного рогатого скота [30]. Род *Prevotella* обладает широким генетическим и функциональным разнообразием, что, вероятно, объясняет их повсеместное распространение в кишечнике крупного рогатого скота и других млекопитающих [31, 32, 33], поскольку они обладают широким спектром ферментов для различных органических полимеров. Представители рода *Ruminococcus*, обнаруженные в рубце крупного рогатого скота, обладают целлюлолитическим действием и производят ацетат, формиат и сукцинат из целлюлозы [34].

Тип *Proteobacteria* меньше всего представлен в желудке, но численность относящихся к нему бактерий в разы больше в образцах тонкого и толстого кишечника, за исключением прямой кишки [11, 12]. Основное обилие протеобактерий в тонком кишечнике складывается из бактерий семейства *Enterobacteriaceae* [11]. Помимо этого, тонкий кишечник представлен проксимальными и дистальными отделами. В дистальных отделах поддерживаются анаэробные условия, в проксимальных – среда аэробная; кислород доставляется сюда из тканей хозяина и секрета билиарной системы и под-

желудочной железы [35]. По этой причине, относительно остального желудочно-кишечного тракта, в тонком кишечнике широко распространены аэробные бактерии родов *Phyllobacterium*, *Achromobacter*, *Sphingomonas* и *Acinetobacter*. Последний обнаружен на слизистых тонкого кишечника, в слизи апикальной поверхности эпителиальных клеток [36].

Формирование и развитие микробиоты.

У млекопитающих кишечная микробиота играет решающую роль в формировании и развитии пищеварительной системы потомства, его иммунитета, роста и метаболизма [37, 38, 39]. Влияние условий раннего выращивания на микробиоту фекалий новорожденных было исследовано на нескольких видах млекопитающих, включая людей [40], свиней [41, 42] и крупный рогатый скот [43].

Микробиота желудочно-кишечного тракта телят формируется в зависимости от типа их выращивания. Традиционная система, подразумевающая отъем телёнка от матери, приводит к преобладанию *Bacteroides*, *Coprobacter* и *Sutterella*; в то время как молодняк, выращенный в контакте с матерью, имеет более высокую относительную численность *Lactobacillus* [44]. Неонатальные телята особенно восприимчивы к кишечным инфекциям: диарея, связанная с дисбактериозом микробиома кишечника, является основной причиной смертности молочных телят [45]. К примеру, телята с более высоким содержанием в кишечнике *Faecalibacterium prausnitzii* и других представителей этого же рода в возрасте одной недели обладают более высокими показателями ежедневного прибавления веса, а также демонстрируют более низкую заболеваемость диареей в течение первых четырех недель жизни [46].

По мере роста телёнка, бактериальная микробиота претерпевает значительную трансформацию количественного состава основных типов бактерий. В первую очередь она выражается в уменьшении разнообразия сообщества [46, 47, 48]. Помимо смены питания, в ходе развития телёнка происходят значимые изменения в анатомии стенки рубца с последующей сменой физиологических функций и метаболизма, что существенно влияет на микробиоту [49]. Для монгольского скота показано изменение микробиоты кишечника по мере развития телёнка: в слепой кишке возрастает относительная численность семейства *Ruminococcaceae*, связанного с деградацией растительных волокон, а в толстом кишечнике увеличивается относительное количество представителей *Bacteroides* и *Alistipes*, которые связаны с иммунитетом [50]. Слепая кишка жвачных животных является вторым по величине местом ферментации после рубца [50, 51], и микробиота толстой кишки играет важную роль в здоровье хозяина [52].

Помимо описанных выше факторов, все больше исследований демонстрируют зависимость микробиоты от генетических характеристик хозяина, таких как порода и внутривидовая генетическая изменчивость [53, 54]. При этом генетические факторы способны влиять на состав и функции микробиома ЖКТ крупного рогатого скота. Исследования доказывают, что микробиота присутствует в рубце, слепой кишке, меконии и околоплодных водах у ещё не рождённых телят [55]. В различных исследованиях было показано, что некоторые бактериальные таксоны рубца передаются по наследству [56, 57, 58, 59], что важно для понимания формирования микробиоты на ранних этапах постнатального периода. Наследуемый микробиом имеет более значимое воздействие на формирование фенотипа животного, чем организмы, колонизирующие ЖКТ после рождения [60]. К тому же некоторые из них ассоциированы с однонуклеотидными полиморфизмами молочного скота [60]. На бактериальную микробиоту кишечника также оказывает влияние генотип хозяина. Однонуклеотидные полиморфизмы в генах хозяина, кодирующих муцин, в значительной степени коррелируют с бактериями *Clostridium*, *Rikenellaceae* и *Akkermansia* [61]. Муцин чрезвычайно важен для здоровья слизистой оболочки кишечника, как компонент эпителиального барьера кишечника. Увеличение числа бактерий, разлагающих муцин, приводит к колонизации и размножению патогенов [62, 63]. Геном хозяина косвенно изменяет состав микробиоты кишечника посредством межмикробных взаимодействий.

На колонизацию и развитие микробиоты кишечника плода влияет питание матери во время беременности, тем самым сказываясь на дальнейшем составе микробиома потомства [64]. Применение витаминных и минеральных добавок к кормам во время беременности приводит к изменению в разнообразии пренатальной микробиоты, а также снижает относительное обилие групп *Escherichia* и *Shigella*, содержащих условно патогенные виды [65].

На колонизацию и развитие микробиоты кишечника плода влияет питание матери во время беременности, тем самым сказываясь на дальнейшем составе микробиома потомства [64]. Применение витаминных и минеральных добавок к кормам во время беременности приводит к изменению в разнообразии пренатальной микробиоты, а также снижает относительное обилие групп *Escherichia* и *Shigella*, содержащих условно патогенные виды [65].

Изменение микробиоты при заболеваниях желудочно-кишечного тракта. Широко распространённой практикой стала противомикробная терапия, ставящая своей целью улучшение здоровья кишечника и снижение риска бактериальных инфекций у крупного рогатого скота [66, 67]. Однако повсеместное использование антибиотиков приводит к формированию резистентных штаммов [68, 69, 70, 71, 72] и изменению бактериального сообщества желудочно-кишечного тракта [73, 74, 75, 76].

Использование антибиотика бацитрацин метилен дисалицилата в лечении телят приводит к увеличению относительного числа условно-патогенных микроорганизмов, таких как *Escherichia*, *Enterococcus* и *Shigella*, и уменьшению полезных бактерий, например: *Roseburia*, *Faecalibacterium* и *Eubacterium* [73]. Антибиотики, применяемые для лечения диареи телят и их респираторных заболеваний, также приводят к изменению микробного состава фекалий телят до отъёма, при этом отмечается снижение численности *Lactobacillus* при любом типе антибактериального лечения, особенно при применении окситетрациклина [74]. Результатом воздействия противомикробных препаратов становится дисбактериоз кишечника телят до отъёма. А кормление молоком, содержащим остатки β -лактамов препаратов, увеличивает количество генов устойчивости к β -лактамазам в популяции *Escherichia coli* у телят до отъёма по сравнению с телятами, которых кормили заменителем молока [70]. Также к увеличению резистентных штаммов *E. coli* приводит кормление телят молоком, содержащим препараты энрофлоксацин, флорфеникол и стрептомицин. На распространённость резистентных штаммов независимо от программы кормления влияет возраст телят: количество генов устойчивости к энрофлоксацину и доксициклину увеличивается в течение первых 6 недель жизни, но затем число генов резистентности к доксициклину уменьшается с 6 недель до 1 года [71].

Диарея телят, которая упоминалась выше, заболевание, которое может развиться на фоне заражения вирусами или патогенными бактериями [77]. Одним из важнейших факторов отсутствия диареи и здоровья телят в раннем возрасте является увеличение разнообразия и стабильности кишечной микробиоты со временем [78, 79]. Антибиотики, в свою очередь, затормаживают развитие разнообразия и таксоно-функциональной устойчивости бактери-

альной микробиоты. Так же показано увеличение генов резистентности к β -лактаму и катионным противомикробным пептидам в кишечной микробиоте телят, получавших противомикробные препараты в качестве терапии [78]. Изменение микробиоты с точностью 84,3 % предсказывает диарею по маркерным таксонам: род *Trueperella* ассоциирован с диареей, а рода *Streptococcus*, *Dorea*, некультивируемые представители семейства *Lachnospiraceae*, и рода *Ruminococcus* и *Erysipelatoclostridium* – со здоровой микробиотой [78].

Изменение кормовой базы закономерно приводит к изменению структуры бактериального сообщества [28, 29, 80], что, в свою очередь, может привести к ряду заболеваний. Например, пенистое вздутие рубца – расстройство пищеварения крупного рогатого скота, которое часто приводит к летальному исходу, связано с выпасом на легкоусвояемых бобовых или пшеничных пастбищах [81]. Во время заболевания микробиота содержимого рубца претерпевает значительные изменения. Так, микробиота твердого содержимого рубца бычков, страдающих от вздутия, отличается большим видовым разнообразием по сравнению со здоровыми особями. У больных животных в содержимом рубца широко представлены виды родов *Streptococcus* и *Succinivibrio*, и неклассифицированные виды, принадлежащие порядку *Muxococcales*, тогда как у здоровых особей преобладали рода *Fibrobacter* и *Ruminococcus* [82].

С типом кормления связан подострый ацидоз рубца. Ацидоз является распространенным нарушением обмена веществ у высокопродуктивных молочных коров [83]. Данное заболевание вызвано использованием рационов с высоким содержанием зерна, что может приводить к изменению в таксономической структуре микробиоты и увеличивает выделение эндотоксинов, в частности липосахаридов, грамотрицательными бактериями [84]. Ацидоз снижает надой и жирность молока, а помимо этого, вызывает ряд таких заболеваний, как диарея, мастит и ламинит, что, в свою очередь, наносит огромный экономический ущерб молочному животноводству [85, 86]. Показано не только изменение микробиоты рубца при подостром ацидозе у крупного рогатого скота, но и метод восстановления бактериального гомеостаза рубца путём трансплантации содержимого рубца от здоровых особей больным [87]. При ацидозе, вызванным добавлением в рацион зерна, снижается богатство и разно-

образии рубцовой и фекальной микробиоты. В рубце и толстой кишке наблюдается увеличение доли *Firmicutes* к *Bacteroidetes* и уменьшение доли *Cyanobacteria* и *Verrucomicrobia*; в тонком кишечнике – увеличение относительной численности актинобактерий, в частности бифидобактерий. При родах у больных коров происходит уменьшение численности *Acholeplasmatales*, *Rickettsiales*, *Shuttleworthia*, *Sutterella*, *Victivallaceae* и увеличение *Succinivibrio* [83, 88, 89]. В другом исследовании показано уменьшение относительного числа *Acinetobacter*, *Anaeroplasma*, *Papillibacter*, *Prevotella* и *Treponema* с одновременным увеличением *Atopobium*, *Ruminococcus*, а также неклассифицированных представителей *Bifidobacterium* и *Clostridiales* у больных животных по отношению к здоровым [90].

Кетонемия или ацетонемия – патологическое состояние, при котором в качестве источника энергии используются жиры, что может привести к увеличению концентрации незатерифицированных жирных кислот в крови [91] и их неполного окисления [92]. Кетонемия может привести к уменьшению продуктивности и проблемам с набором массы, проявлению неврологических расстройств, в частности, агрессивному поведению, спровоцировать развитие мастита [93]. У телят, чьи матери страдали от кетонемии во время беременности, снизятся темпы набора массы после рождения и даже уменьшится видовое разнообразие, богатство и однородность кишечного микробиома [94]. Исследователи расходятся во мнении относительно связи между наличием кетонемии и составом микробиоты. Одни работы отмечают изменения таксономического обилия рубца при кетонемии – снижаются относительные численности групп *Ruminococcaceae*, *Methanobrevibacter*, *Erysipelotrichaceae*, *Atopobium*, *Prevotella* и повышаются доли *Luteimonas*, *Thermomonas*, *Christensenellaceae*, *Rikenellaceae* и *Lachnospiraceae* [95, 96]. Однако в других исследованиях, хоть и подтверждается снижение относительного обилия рода *Ruminococcus*, но не обнаруживается существенных различий в микробиоте фекалий или рубца у здоровых и больных коров [97].

Стоит отметить, что помимо расстройств желудочно-кишечного тракта, бактериальная микробиота рубца и кишечника коров оказывает влияние на центральную нервную, иммунную, выделительную и респираторную системы [98]. Это влияние может быть прямым, напри-

мер род *Treponema*, вызывающий пальцевый дерматит крупного рогатого скота, широко представлен в кишечнике коров, страдающих от этого заболевания [99], и опосредованным через метаболиты, продуцируемые микробиотой. Так, увеличение доли грамотрицательных бактерий может привести к увеличению концентрации липополисахаридов, что, в свою очередь, повлияет на развитие мастита [86, 96, 100]; в то же время продуцируемые микробиотой короткоцепочечные жирные кислоты способны защищать от воспалительных процессов в молочных железах [96] и лёгких [101]. Увеличение продукции вторичных желчных кислот способствует развитию чрезмерного липолиза в послеродовом периоде [102], а снижение метаболизма глутамина, глутамата, глицина и цистеина до глутатиона – послеродового окислительного стресса [103], что в обоих случаях приводит к подавлению иммунитета.

Использование пищевых добавок, включающих пробиотики, может повлиять на бактериальную структуру и обилие отдельных таксономических групп [104, 105, 106]. Совместное использование пробиотиков и пребиотиков в качестве терапии является эффективной стратегией в лечении ряда заболеваний у крупного рогатого скота и может заменить использование антибиотиков [79, 98].

Влияние микробиоты на продуктивные качества крупного рогатого скота. Состав микробиоты влияет на некоторые продуктивные качества. Так, соотношение между типами *Firmicutes* и *Bacteroidetes* содержимого рубца значительно коррелирует с выходом молочного жира. Род *Prevotella* (тип *Bacteroidetes*) – наиболее многочисленный, в образцах до 72 % всего бактериального разнообразия, демонстрирует значимую отрицательную корреляцию с выходом молочного жира; принадлежащие типу *Firmicutes* рода *Eubacterium*, *Dialister* и некоторые бактерии, относящиеся к семейству *Lachnospiraceae* и классу *Negativicutes*, значительно коррелировали с повышенным уровнем [107].

Различия в микробиоте наблюдаются и в разных по удою группах коров молочного направления. Исследование различий микробиоты высокопродуктивных и низкопродуктивных коров показало, что первая группа обладает более низкой бактериальной насыщенностью рубца и однородностью видов по сравнению со второй группой. На уровне типов у высокопродуктивных коров значи-

тельно увеличена численность *Proteobacteria* по отношению к другим таксонам, в частности *Bacteroidetes*, *Chloroflexi*, *Euryarchaeota*, *Planctomycetes*, *Synergistetes* и *Verrucomicrobia*. У высокопродуктивной группы коров отмечено увеличение бактерий, относящихся к родам *Butyrivibrio*, *Dialister* и *Lachnospira*. В то же время значительно снижена доля *Anaeroplasma*, *Coprococcus*, *Prevotella*, *Ruminobacter*, *Ruminococcus*, *Selenomonas* и *Succiniclasticum* [108].

Различия между кишечной микробиотой коров в разных хозяйственных организациях могут сказаться на продуктивности. Сравнение коров двух хозяйственных организаций выявило значимое различие по составу микробиоты рубца и связи между надоем и составом микробиоты. Бактерии рода *Prevotella* и семейства *Succinivibrionaceae* были представлены в большем количестве и положительно коррелировали с надоями. В одной организации количество бактерий семейства *Succinivibrionaceae* было выше у высокопродуктивных коров по сравнению с низкопродуктивными. Однако авторы отмечают, что различия в бактериях рубца у коров, наблюдаемые между двумя организациями, могут быть связаны с составом рациона, а не местоположением [109].

Микробиота коров сухостойного периода в основном представлена таксонами *Prevotella*, *Methanobrevibacter*, *Pseudobutyrvibrio*, *Ruminococcus*, *Bacteroides* и *Streptococcus*. Но, помимо этого, установлено, что обилия родов *Methanobrevibacter*, *Ruminococcus*, *Streptococcus* и *Prevotella* могут быть связаны с надоями в предыдущий лактационный период. Рода *Methanobrevibacter*, *Ruminococcus*, *Streptococcus* демонстрируют отрицательную корреляцию с удоем предыдущей лактации, тогда как *Prevotella* коррелирует положительно [110].

Белок молока также связан с составом микробиоты. Однако исследования на этот счёт не дают однозначного понимания их взаимосвязи. Так, показана значимая корреляция некоторых видов рода *Prevotella* с метаболом рубца и метаболом сыворотки крови, что авторами интерпретируется как

положительная взаимосвязь между родом *Prevotella* и выходом белка [111]. В данном исследовании также продемонстрировано, что микробиом рубца коров с высоким выходом белка имеет более низкую относительную численность метаногенных организмов. С другой стороны, в выводах более поздних работ утверждается, что увеличение доли бактерий рода *Prevotella* в содержимом рубца приводит к снижению выхода белка у коров [112, 113] по сравнению с особями, у которых в рубце преобладает род *Ruminococcus* [113].

На продуктивные характеристики влияет и то, наследуется ли бактериальный таксон, т. е. передаётся потомству от родителя или нет. Наследственные бактерии имеют больший вклад на продуктивность лактации и выработку летучих жирных кислот рубца (ацетат, пропионат, бутират, изобутират, валерат, изовалерат) [114].

Заключение. Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что бактериальный микробиом играет колоссальную роль в жизни крупного рогатого скота. Начиная формироваться с момента рождения, он меняется и приспосабливается к условиям окружающей среды. Микробиом различен в разных отделах желудочно-кишечного тракта, и в каждом преобладают соответствующие типы и рода бактерий, выполняющие определённые функции.

Микробиота значимо влияет на здоровье крупного рогатого скота. Изменения в рационе питания способны привести к дисбактериозам и, в конечном итоге, заболеваниям. Кроме того, современные условия требуют использования новейших методов микробиотической трансплантации и пробиотико-пребиотической терапии, а также сокращения использования антимикробных препаратов из-за рисков развития резистентных патогенов.

Результаты множества исследований говорят о связи между микробиотой и показателями молочной продуктивности, что открывает возможности целенаправленного изменения в микробиотическом составе, не только в качестве лечебной терапии, но и с целью повышения показателей молочной продуктивности.

References

1. Friedman E. S., Bittinger K., Esipova T. V., Hou L., Chau L., Jiang J., Mesaros C., Lund P. J., Liang X., FitzGerald G. A., Goulian M., Lee D., Garcia B. A., Blair I. A., Vinogradov S. A., Wu G. D. Microbes vs. chemistry in the origin of the anaerobic gut lumen. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2018;115(16):4170–4175. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1718635115>
2. Barone M., D'Amico F., Brigidi P., Turrone S. Gut microbiome-micronutrient interaction: The key to controlling the bioavailability of minerals and vitamins? *Biofactors*. 2022;48(2):307–314. DOI: <https://doi.org/10.1002/biof.1835>

3. Procházková N., Falony G., Dragsted L. O., Licht T. R., Raes J., Roager H. M. Advancing human gut microbiota research by considering gut transit time. *Gut*. 2023;72(1):180–191. DOI: <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2022-328166>
4. Müller M., Hermes G. D. A., Canfora E. E., Smidt H., Masclee A. A. M., Zoetendal E. G., Blaak E. E. Distal colonic transit is linked to gut microbiota diversity and microbial fermentation in humans with slow colonic transit. *American Journal Physiol Gastrointest Liver Physiol*. 2020;318(2):G361–G369. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00283.2019>
5. Ridlon J. M., Kang D. J., Hylemon P. B., Bajaj J. S. Bile acids and the gut microbiome. *Current Opinion in Gastroenterology*. 2014;30(3):332–338. DOI: <https://doi.org/10.1097/MOG.0000000000000057>
6. Paone P., Cani P. D. Mucus barrier, mucins and gut microbiota: the expected slimy partners? *Gut*. 2020;69(12):2232–2243. DOI: <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2020-322260>
7. Wu H. J., Wu E. The role of gut microbiota in immune homeostasis and autoimmunity. *Gut Microbes*. 2012;3(1):4–14. DOI: <https://doi.org/10.4161/gmic.19320>
8. Cammack K. M., Austin K. J., Lamberson W. R., Conant G. C., Cunningham H. C. RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM: Tiny but mighty: the role of the rumen microbes in livestock production. *Journal of Animal Science*. 2018;96(2):752–770. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skx053>
9. O'Hara E., Neves A. L. A., Song Y., Guan L. L. The Role of the Gut Microbiome in Cattle Production and Health: Driver or Passenger? *Annuals Reviews of Animal Biosciences*. 2020;(8):199–220. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083952>
10. Чеченихина О. С., Мустафина А. А. Современные специализированные породы и типы молочного скота. *Аграрное образование и наука*. 2023;(1):7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50370130> EDN: GZGLFZ
- Чеченихина О. С., Мустафина А. А. Modern specialized breeds and types of dairy cattle. *Agrarnoe obrazovanie i nauka* = Agrarian education and science. 2023;(1):7. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50370130>
11. Mao S., Zhang M., Liu J., Zhu W. Characterising the bacterial microbiota across the gastrointestinal tracts of dairy cattle: membership and potential function. *Scientific Reports*. 2015;(5):16116. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep16116>
12. Lin L., Lai Z., Zhang J., Zhu W., Mao S. The gastrointestinal microbiome in dairy cattle is constrained by the deterministic driver of the region and the modified effect of diet. *Microbiome*. 2023;11(1):10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01453-2>
13. Petri R. M., Schwaiger T., Penner G. B., Beauchemin K. A., Forster R. J., McKinnon J. J., McAllister T. A. Characterization of the core rumen microbiome in cattle during transition from forage to concentrate as well as during and after an acidotic challenge. *PLoS One*. 2013;8(12):e83424. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083424>
14. Tropini C., Earle K. A., Huang K. C., Sonnenburg J. L. The Gut Microbiome: Connecting Spatial Organization to Function. *Cell Host Microbe*. 2017;21(4):433–442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chom.2017.03.010>
15. Gu S., Chen D., Zhang J. N., Lv X., Wang K., Duan L. P., Nie Y., Wu X. L. Bacterial community mapping of the mouse gastrointestinal tract. *PLoS One*. 2013;8(10):e74957. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074957>
16. Seedorf H., Griffin N. W., Ridaura V. K., Reyes A., Cheng J., Rey F. E., Smith M. I., Simon G. M., Scheffrahn R. H., Wobken D., Spormann A. M., Van Treuren W., Ursell L. K., Pirrung M., Robbins-Pianka A., Cantarel B. L., Lombard V., Henrissat B., Knight R., Gordon J. I. Bacteria from diverse habitats colonize and compete in the mouse gut. *Cell*. 2014;159(2):253–266. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.09.008>
17. Faith J. J., Guruge J. L., Charbonneau M., Subramanian S., Seedorf H., Goodman A. L., Clemente J. C., Knight R., Heath A. C., Leibel R. L., Rosenbaum M., Gordon J. I. The long-term stability of the human gut microbiota. *Science*. 2013;341(6141):1237439. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1237439>
18. Kim M., Morrison M., Yu Z. Status of the phylogenetic diversity census of ruminal microbiomes. *FEMS Microbiology Ecology*. 2011;76(1):49–63. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2010.01029.x>
19. Myer P. R., Freetly H. C., Wells J. E., Smith T. P. L., Kuehn L. A. Analysis of the gut bacterial communities in beef cattle and their association with feed intake, growth, and efficiency. *Journal of Animal Science*. 2017;95(7):3215–3224. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1059>
20. Liu J. H., Zhang M. L., Zhang R. Y., Zhu W. Y., Mao S. Y. Comparative studies of the composition of bacterial microbiota associated with the ruminal content, ruminal epithelium and in the faeces of lactating dairy cows. *Microbial Biotechnology*. 2016;9(2):257–268. DOI: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12345>
21. Huang S., Ji S., Yan H., Hao Y., Zhang J., Wang Y., Cao Z., Li S. The day-to-day stability of the ruminal and fecal microbiota in lactating dairy cows. *MicrobiologyOpen*. 2020;9(5):e990. DOI: <https://doi.org/10.1002/mbo3.990>
22. Myer P. R., Wells J. E., Smith T. P., Kuehn L. A., Freetly H. C. Microbial community profiles of the colon from steers differing in feed efficiency. *SpringerPlus*. 2015;4:454. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1201-6>
23. Stevenson D. M., Weimer P. J. Dominance of Prevotella and low abundance of classical ruminal bacterial species in the bovine rumen revealed by relative quantification real-time PCR. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2007;75(1):165–174. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0802-y>
24. Flint H. J., Bayer E. A. Plant cell wall breakdown by anaerobic microorganisms from the *Mammalian* digestive tract. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2008;1125(1):280–288. DOI: <https://doi.org/10.1196/annals.1419.022>
25. Dodd D., Mackie R. I., Cann I. K. Xylan degradation, a metabolic property shared by rumen and human colonic *Bacteroides*. *Molecular Microbiology*. 2011;79(2):292–304. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2010.07473.x>
26. Dill-McFarland K. A., Breaker J. D., Suen G. Microbial succession in the gastrointestinal tract of dairy cows from 2 weeks to first lactation. *Scientific Reports*. 2017;7:40864. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep40864>

27. Calsamiglia S., Ferret A., Reynolds C. K., Kristensen N. B., van Vuuren A. M. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. *Animal*. 2010;4(7):1184–1196. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731110000911>
28. Klein-Jöbstl D., Schornsteiner E., Mann E., Wagner M., Drillich M., Schmitz-Esser S. Pyrosequencing reveals diverse fecal microbiota in Simmental calves during early development. *Frontiers in Microbiology*. 2014;5:622. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00622>
29. Belanche A., Doreau M., Edwards J. E., Moorby J. M., Pinloche E., Newbold C. J. Shifts in the rumen microbiota due to the type of carbohydrate and level of protein ingested by dairy cattle are associated with changes in rumen fermentation. *The Journal of Nutrition*. 2012;142(9):1684–1692. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.112.159574>
30. Holman D. B., Gzyl K. E. A meta-analysis of the bovine gastrointestinal tract microbiota. *FEMS Microbiology Ecology*. 2019;95(6):fiz072. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiz072>
31. Purushe J., Fouts D. E., Morrison M., White B. A., Mackie R. I., the North American Consortium for Rumen Bacteria, Coutinho P. M., Henrissat B., Nelson K. E. Comparative genome analysis of *Prevotella ruminicola* and *Prevotella bryantii*: insights into their environmental niche. *Microbial Ecology*. 2010;60(4):721–729. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-010-9692-8>
32. Accetto T., Avguştin G. The diverse and extensive plant polysaccharide degradative apparatuses of the rumen and hindgut *Prevotella* species: A factor in their ubiquity? *Systematic and Applied Microbiology*. 2019;42(2):107–116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2018.10.001>
33. Tett A., Pasolli E., Masetti G., Ercolini D., Segata N. *Prevotella* diversity, niches and interactions with the human host. *Nature Reviews Microbiology*. 2021;19(9):585–599. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00559-y>
34. Flint H. J., Bayer E. A., Rincon M. T., Lamed R., White B. A. Polysaccharide utilization by gut bacteria: potential for new insights from genomic analysis. *Nature Reviews Microbiology*. 2008;6(2):121–131. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro1817>
35. Marteyn B., West N. P., Browning D. F., Cole J. A., Shaw J. G., Palm F., Mounier J., Prévost M. C., Sansonetti P., Tang C. M. Modulation of *Shigella* virulence in response to available oxygen *in vivo*. *Nature*. 2010;465(7296):355–358. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature08970>
36. Martinez-Guryn K., Leone V., Chang E. B. Regional diversity of the gastrointestinal microbiome. *Cell Host & Microbe*. 2019;26(3):314–324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chom.2019.08.011>
37. Arrieta M. C., Stiemsma L. T., Amenyogbe N., Brown E. M., Finlay B. The intestinal microbiome in early life: health and disease. *Frontiers in Immunology*. 2014;5:427. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2014.00427>
38. Petersen C., Bell R., Klag K. A., Lee S. H., Soto R., Ghazaryan A., Buhrke K., Ekiz H. A., Ost K. S., Boudina S., O'Connell R. M., Cox J. E., Villanueva C. J., Stephens W. Z., Round J. L. T cell-mediated regulation of the microbiota protects against obesity. *Science*. 2019;365(6451):9351. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aat9351>
39. Du Y., Gao Y., Hu M., Hou J., Yang L., Wang X., Du W., Liu J., Xu Q. Colonization and development of the gut microbiome in calves. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2023;14(1):46. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00856-x>
40. Gritz E. C., Bhandari V. The human neonatal gut microbiome: a brief review. *Frontiers in Pediatrics*. 2015;3:17. DOI: <https://doi.org/10.3389/fped.2015.00017>
41. Maradiaga N., Aldridge B., Zeineldin M., Lowe J. Gastrointestinal microbiota and mucosal immune gene expression in neonatal pigs reared in a cross-fostering model. *Microbial Pathogenesis*. 2018;121:27–39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.05.007>
42. Mulder I. E., Schmidt B., Lewis M., Delday M., Stokes C. R., Bailey M., Aminov R. I., Gill B. P., Pluske J. R., Mayer C. D., Kelly D. Restricting microbial exposure in early life negates the immune benefits associated with gut colonization in environments of high microbial diversity. *PLoS One*. 2011;6(12):e28279. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028279>
43. Malmuthuge N., Guan L. L. Understanding the gut microbiome of dairy calves: Opportunities to improve early-life gut health. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(7):5996–6005. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12239>
44. Beaver A., Petersen C., Weary D. M., Finlay B. B., von Keyserlingk M. A. G. Differences in the fecal microbiota of dairy calves reared with differing sources of milk and levels of maternal contact. *JDS Communications*. 2021;2(4):200–206. DOI: <https://doi.org/10.3168/jdsc.2020-0059>
45. Cho Y. I., Yoon K. J. An overview of calf diarrhea – infectious etiology, diagnosis, and intervention. *Journal of Veterinary Science*. 2014;15(1):1–17. DOI: <https://doi.org/10.4142/jvs.2014.15.1.1>
46. Oikonomou G., Teixeira A. G., Foditsch C., Bicalho M. L., Machado V. S., Bicalho R. C. Fecal microbial diversity in pre-weaned dairy calves as described by pyrosequencing of metagenomic 16S rDNA. Associations of *Faecalibacterium* species with health and growth. *PLoS One*. 2013;8(4):e63157. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063157>
47. Li R. W., Connor E. E., Li C., Baldwin Vi R. L., Sparks M. E. Characterization of the rumen microbiota of pre-ruminant calves using metagenomic tools. *Environmental Microbiology*. 2012;14(1):129–139. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02543.x>
48. Jami E., Israel A., Kotser A., Mizrahi I. Exploring the bovine rumen bacterial community from birth to adulthood. *The ISME Journal*. 2013;7(6):1069–1079. DOI: <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.2>
49. Liang Z., Zhang J., Du M., Ahmad A. A., Wang S., Zheng J., Salekdeh G. H., Yan P., Han J., Tong B., Ding X. Age-dependent changes of hindgut microbiota succession and metabolic function of Mongolian cattle in the semi-arid rangelands. *Front Microbiol*. 2022;13:957341. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.957341>

50. Li S., Khafipour E., Krause D. O., Kroeker A., Rodriguez-Lecompte J. C., Gozho G. N., Plaizier J. C. Effects of subacute ruminal acidosis challenges on fermentation and endotoxins in the rumen and hindgut of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2012;95(1):294–303. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4447>
51. Zou X., Liu G., Meng F., Hong L., Li Y., Lian Z., Yang Z., Luo C., Liu D. Exploring the rumen and cecum microbial community from fetus to adulthood in goat. *Animals (Basel)*. 2020;10(9):1639. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10091639>
52. Hu P., Zhao F., Wang J., Zhu W. Early-life lactoferrin intervention modulates the colonic microbiota, colonic microbial metabolites and intestinal function in suckling piglets. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2020;104(14):6185–6197. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10675-z>
53. Даугалиева А. Т., Даугалиева С. Т., Кинеев М. А., Арынгазиев Б. С., Сембаева А. И., Лаврентьева Т. А. Сравнительная характеристика кишечного микробиома местного крупного рогатого скота и скота абердин-ангусской породы, импортированного в Казахстан. *Ветеринария сегодня*. 2022;11(1):53–60. DOI: <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-1-53-60> EDN: NTTNMY
54. Daugaliyeva A. T., Daugaliyeva S. T., Kineev M. A., Aryngazyev B. S., Sembaeva A. I., Lavrentieva T. A. Comparative analysis of intestinal microbiome of local cattle and Aberdeen Angus cattle imported to Kazakhstan. *Veterinariya segodnya* = *Veterinary Science Today*. 2022;11(1):53–60. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-1-53-60>
55. Wang L., Wu D., Zhang Y., Li K., Wang M., Ma J. Dynamic distribution of gut microbiota in cattle at different breeds and health states. *Frontiers in Microbiology*. 2023;14:1113730. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1113730>
56. Guzman C. E., Wood J. L., Egidi E., White-Monsant A. C., Semenec L., Grommen S. V. H., Hill-Yardin E. L., De Groef B., Franks A. E. A pioneer calf foetus microbiome. *Scientific Reports*. 2020;10(1):17712. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74677-7>
57. Difford G. F., Plichta D. R., Løvendahl P., Lassen J., Noel S. J., Højberg O., Wright A. G., Zhu Z., Kristensen L., Nielsen H. B., Guldbrandtsen B., Sahana G. Host genetics and the rumen microbiome jointly associate with methane emissions in dairy cows. *PLoS Genetics*. 2018;14(10):e1007580. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1007580>
58. Abbas W., Howard J. T., Paz H. A., Hales K. E., Wells J. E., Kuehn L. A., Erickson G. E., Spangler M. L., Fernando S. C. Influence of host genetics in shaping the rumen bacterial community in beef cattle. *Scientific Reports*. 2020;10(1):15101. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72011-9>
59. Sasson G., Kruger Ben-Shabat S., Seroussi E., Doron-Faigenboim A., Shterzer N., Yaacoby S., Berg Miller M. E., White B. A., Halperin E., Mizrahi I. Heritable bovine rumen bacteria are phylogenetically related and correlated with the cow's capacity to harvest energy from its feed. *mBio*. 2017;8(4):e00703-17. DOI: <https://doi.org/10.1128/mBio.00703-17>
60. Zhang Q., Difford G., Sahana G., Løvendahl P., Lassen J., Lund M. S., Guldbrandtsen B., Janss L. Bayesian modeling reveals host genetics associated with rumen microbiota jointly influence methane emission in dairy cows. *The ISME Journal*. 2020;14(8):2019–2033. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41396-020-0663-x>
61. Wallace R. J., Sasson G., Garnsworthy P. C., Tapio I., Gregson E., Bani P., Huhtanen P., Bayat A. R., Strozzi F., Biscarini F., Snelling T. J., Saunders N., Potterton S. L., Craigon J., Minuti A., Trevisi E., Callegari M. L., Cappelli F. P., Cabezas-Garcia E. H., Vilkkilä J., Pinares-Patino C., Fliegerová K. O., Mrázek J., Sechovcová H., Kopečný J., Bonin A., Boyer F., Taberlet P., Kokou F., Halperin E., Williams J. L., Shingfield K. J., Mizrahi I. A heritable subset of the core rumen microbiome dictates dairy cow productivity and emissions. *Science Advances*. 2019;5(7):aav8391. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav8391>
62. Fan P., Bian B., Teng L., Nelson C. D., Driver J., Elzo M. A., Jeong K. C. Host genetic effects upon the early gut microbiota in a bovine model with graduated spectrum of genetic variation. *The ISME Journal*. 2020;14(1):302–317. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0529-2>
63. Pelaseyed T., Bergström J. H., Gustafsson J. K., Ermund A., Birchenough G. M., Schütte A., van der Post S., Svensson F., Rodríguez-Piñeiro A. M., Nyström E. E., Wising C., Johansson M. E., Hansson G. C. The mucus and mucins of the goblet cells and enterocytes provide the first defense line of the gastrointestinal tract and interact with the immune system. *Immunological Reviews*. 2014;260(1):8–20. DOI: <https://doi.org/10.1111/imr.12182>
64. Desai M. S., Seekatz A. M., Koropatkin N. M., Kamada N., Hickey C. A., Wolter M., Pudlo N. A., Kitamoto S., Terrapon N., Muller A., Young V. B., Henrissat B., Wilmes P., Stappenbeck T. S., Núñez G., Martens E. C. A dietary fiber-deprived gut microbiota degrades the colonic mucus barrier and enhances pathogen susceptibility. *Cell*. 2016;167(5):1339–1353.e21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.10.043>
65. Miko E., Csaszar A., Bodis J., Kovacs K. The maternal-fetal gut microbiota axis: physiological changes, dietary influence, and modulation possibilities. *Life (Basel)*. 2022;12(3):424. DOI: <https://doi.org/10.3390/life12030424>
66. Luecke S. M., Holman D. B., Schmidt K. N., Gzyl K. E., Hurlbert J. L., Menezes A. C. B., Bochantin K. A., Kirsch J. D., Baumgaertner F., Sedivec K. K., Swanson K. C., Dahlen C. R., Amat S. Whole-body microbiota of newborn calves and their response to prenatal vitamin and mineral supplementation. *Frontiers in Microbiology*. 2023;14:1207601. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1207601>
67. Constable P. D. Antimicrobial use in the treatment of calf diarrhea. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2004;18(1):8–17. DOI: [https://doi.org/10.1892/0891-6640\(2004\)18<8:auitto>2.0.co;2](https://doi.org/10.1892/0891-6640(2004)18<8:auitto>2.0.co;2)
68. Smith G. Antimicrobial decision making for enteric diseases of cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2015;31(1):47–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2014.11.004>

68. Khachatryan A. R., Hancock D. D., Besser T. E., Call D. R. Role of calf-adapted *Escherichia coli* in maintenance of antimicrobial drug resistance in dairy calves. *Applied and Environmental Microbiology*. 2004;70(2):752–757. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.70.2.752-757.2004>
69. Thames C. H., Pruden A., James R. E., Ray P. P., Knowlton K. F. Excretion of antibiotic resistance genes by dairy calves fed milk replacers with varying doses of antibiotics. *Frontiers in Microbiology*. 2012;3:139. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00139>
70. Maynou G., Migura-Garcia L., Subirats J., Chester-Jones H., Ziegler D., Bach A., Terré M. 1232 Impact of milk-feeding programs on fecal bacteria population and antimicrobial resistance genes in *Escherichia coli* isolated from feces in preweaned calves. *Journal of Animal Science*. 2016;94(5):593. DOI: <https://doi.org/10.2527/jam2016-1232>
71. Maynou G., Bach A., Terré M. Feeding of waste milk to Holstein calves affects antimicrobial resistance of *Escherichia coli* and *Pasteurella multocida* isolated from fecal and nasal swabs. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(4):2682–2694. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11891>
72. Firth C. L. L., Kremer K., Werner T., Käsbohrer A. The effects of feeding waste milk containing antimicrobial residues on dairy calf health. *Pathogens*. 2021;10(2):112. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens10020112>
73. Xie G., Duff G. C., Hall L. W., Allen J. D., Burrows C. D., Bernal-Rigoli J. C., Dowd S. E., Guerriero V., Yeoman C. J. Alteration of digestive tract microbiome in neonatal Holstein bull calves by bacitracin methylene disalicylate treatment and scours. *Journal of Animal Science*. 2013;91(10):4984–4990. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6304>
74. Oultram J., Phipps E., Teixeira A. G., Foditsch C., Bicalho M. L., Machado V. S., Bicalho R. C., Oikonomou G. Effects of antibiotics (oxytetracycline, florfenicol or tulathromycin) on neonatal calves' faecal microbial diversity. *VetRecord*. 2015;177(23):598. DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.103320>
75. Pereira R. V. V., Lima S., Siler J. D., Foditsch C., Warnick L. D., Bicalho R. C. Ingestion of milk containing very low concentration of antimicrobials: longitudinal effect on fecal microbiota composition in preweaned calves. *PLoS One*. 2016;11(1):e0147525. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147525>
76. Pereira R. V. V., Carroll L. M., Lima S., Foditsch C., Siler J. D., Bicalho R. C., Warnick L. D. Impacts of feeding preweaned calves milk containing drug residues on the functional profile of the fecal microbiota. *Scientific Reports*. 2018;8(1):554. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-19021-2>
77. Gulliksen S. M., Jor E., Lie K. I., Hamnes I. S., Løken T., Akerstedt J., Osterås O. Enteropathogens and risk factors for diarrhea in Norwegian dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 2009;92(10):5057–5066. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2080>
78. Ma T., Villot C., Renaud D., Skidmore A., Chevaux E., Steele M., Guan L. L. Linking perturbations to temporal changes in diversity, stability, and compositions of neonatal calf gut microbiota: prediction of diarrhea. *The ISME Journal*. 2020;14(9):2223–2235. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41396-020-0678-3>
79. Du W., Wang X., Hu M., Hou J., Du Y., Si W., Yang L., Xu L., Xu Q. Modulating gastrointestinal microbiota to alleviate diarrhea in calves. *Frontiers in Microbiology*. 2023;14:1181545. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1181545>
80. Auffret M. D., Dewhurst R. J., Duthie C. A., Rooke J. A., John Wallace R., Freeman T. C., Stewart R., Watson M., Roehe R. The rumen microbiome as a reservoir of antimicrobial resistance and pathogenicity genes is directly affected by diet in beef cattle. *Microbiome*. 2017;5(1):159. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40168-017-0378-z>
81. Wang Y., Majak W., McAllister T. A. Frothy bloat in ruminants: cause, occurrence, and mitigation strategies. *Animal Feed Science Technology*. 2012;172(1-2):103–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.012>
82. Azad E., Derakhshani H., Forster R. J., Gruninger R. J., Acharya S., McAllister T. A., Khafipour E. Characterization of the rumen and fecal microbiome in bloated and non-bloated cattle grazing alfalfa pastures and subjected to bloat prevention strategies. *Sci Rep*. 2019;9(1):4272. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41017-3>
83. Fu Y., He Y., Xiang K., Zhao C., He Z., Qiu M., Hu X., Zhang N. The role of rumen microbiota and its metabolites in subacute ruminal acidosis (SARA)-induced inflammatory diseases of ruminants. *Microorganisms*. 2022;10(8):1495. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10081495>
84. Plaizier J. C., Danesh Mesgaran M., Derakhshani H., Golder H., Khafipour E., Kleen J. L., Lean I., Looor J., Penner G., Zebeli Q. Review: Enhancing gastrointestinal health in dairy cows. *Animal*. 2018;12(s2):s399–s418. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731118001921>
85. Abdela N. Sub-acute ruminal acidosis (SARA) and its consequence in dairy cattle: A review of past and recent research at global prospective. *Achievements in the Life Sciences*. 2016;10(2):187–196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.als.2016.11.006>
86. Hu X., Li S., Mu R., Guo J., Zhao C., Cao Y., Zhang N., Fu Y. The rumen microbiota contributes to the development of mastitis in dairy cows. *Microbiology Spectrum*. 2022;10(1):e0251221. DOI: <https://doi.org/10.1128/spectrum.02512-21>
87. Mu Y. Y., Qi W. P., Zhang T., Zhang J. Y., Mei S. J., Mao S. Y. Changes in rumen fermentation and bacterial community in lactating dairy cows with subacute rumen acidosis following rumen content transplantation. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(10):10780–10795. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20490>
88. Plaizier J. C., Danscher A. M., Azevedo P. A., Derakhshani H., Andersen P. H., Khafipour E. A grain-based SARA challenge affects the composition of epimural and mucosa-associated bacterial communities throughout the digestive tract of dairy cows. *Animals (Basel)*. 2021;11(6):1658. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11061658>
89. Plaizier J. C., Li S., Danscher A. M., Derakhshani H., Andersen P. H., Khafipour E. Changes in microbiota in rumen digesta and feces due to a grain-based subacute ruminal acidosis (SARA) challenge. *Microbial Ecology*. 2017;74(2):485–495. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-017-0940-z>

90. Mao S. Y., Zhang R. Y., Wang D. S., Zhu W. Y. Impact of subacute ruminal acidosis (SARA) adaptation on rumen microbiota in dairy cattle using pyrosequencing. *Anaerobe*. 2013;24:12–19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2013.08.003>
91. Brown D. Optimising rumen health and the effect this will have on ketosis. *Livestock*. 2018;23(4):174–178. DOI: <https://doi.org/10.12968/live.2018.23.4.174>
92. Rodriguez-Jimenez S., Haerr K. J., Trevisi E., Loor J. J., Cardoso F. C., Osorio J. S. Prepartal standing behavior as a parameter for early detection of postpartal subclinical ketosis associated with inflammation and liver function biomarkers in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2018;101(9):8224–8235. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14254>
93. Khalil A., Batool A., Arif S. Healthy Cattle Microbiome and Dysbiosis in Diseased Phenotypes. *Ruminants*. 2022;2(1):134–156. DOI: <https://doi.org/10.3390/ruminants2010009>
94. Halfen J., Carpinelli N. A., Lasso-Ramirez S., Michelotti T. C., Fowler E. C., St-Pierre B., Trevisi E., Osorio J. S. Physiological Conditions Leading to Maternal Subclinical Ketosis in Holstein Dairy Cows Can Impair the Offspring's Postnatal Growth and Gut Microbiome Development. *Microorganisms*. 2023;11(7):1839. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071839>
95. Huang Y., Li Y., He B., Hu J., Mohsin M. A., Yu H., Wang P., Zhang P., Du Y., Huang L., Shen W., Zhou X. The influence of ketosis on the rectal microbiome of Chinese Holstein cows. *Pakistan Veterinary Journal*. 2019;39(2):175–180. DOI: <https://doi.org/10.29261/pakvetj/2019.041>
96. Xiang K., Hu X., Mu R., Wang Y., Zhao C., Zhang N., Fu Y. Rumen microbiota alterations during ketosis is associated with the development of mastitis in dairy cows. *Research Square* (preprint). 2021; (2):1–24
97. Miles A. M., McArt J. A. A., Lima S. F., Neves R. C., Ganda E. The association of hyperketonemia with fecal and rumen microbiota at time of diagnosis in a case-control cohort of early lactation cows. *BMC Veterinary Research*. 2022;18(1):411. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12917-022-03500-4>
98. Welch C. B., Ryman V. E., Pringle T. D., Lourenco J. M. Utilizing the gastrointestinal microbiota to modulate cattle health through the microbiome-gut-organ axes. *Microorganisms*. 2022;10(7):1391. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071391>
99. Zinicola M., Lima F., Lima S., Machado V., Gomez M., Döpfer D., Guard C., Bicalho R. Altered microbiomes in bovine digital dermatitis lesions, and the gut as a pathogen reservoir. *PLoS One*. 2015;10(3):e0120504. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120504>
100. Hu X., Li S., Fu Y., Zhang N. Targeting gut microbiota as a possible therapy for mastitis. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*. 2019;38(8):1409–1423. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10096-019-03549-4>
101. Machado M. G., Sencio V., Trottein F. Short-chain fatty acids as a potential treatment for infections: a closer look at the lungs. *Infection and Immunity*. 2021;89(9):e0018821. DOI: <https://doi.org/10.1128/IAI.00188-21>
102. Gu F., Zhu S., Tang Y., Liu X., Jia M., Malmuthuge N., Valencak T. G., McFadden J. W., Liu J. X., Sun H. Z. Gut microbiome is linked to functions of peripheral immune cells in transition cows during excessive lipolysis. *Microbiome*. 2023;11(1):40. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40168-023-01492-3>
103. Gu F., Zhu S., Hou J., Tang Y., Liu J. X., Xu Q., Sun H. Z. The hindgut microbiome contributes to host oxidative stress in postpartum dairy cows by affecting glutathione synthesis process. *Microbiome*. 2023;11(1):87. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40168-023-01535-9>
104. Uyeno Y., Shigemori S., Shimosato T. Effect of probiotics/prebiotics on cattle health and productivity. *Microbes and Environments*. 2015;30(2):126–132. DOI: <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME14176>
105. Крупин Е. О., Харченко А. М., Шакиров Ш. К., Григорьева Т. В., Тагиров М. Ш. Метагеномный анализ изменения микробиоты рубца коров при использовании экспериментального кормового концентрата. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(10):79–81. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11018> EDN: VMIWCE
- Krupin E. O., Kharchenko A. M., Shakirov Sh. K., Grigor'eva T. V., Tagirov M. Sh. Metagenomic analysis of the microbiota change of cow rumen with the use of experimental feed concentrate. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICs*. 2018;32(10):79–81. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11018>
106. Ёылдырым Е. А., Лаптев Г. Ю., Ильина Л. А., Дунышев Т. П., Тюрина Д. Г., Филиппова В. А., Бражник Е. А., Тарлавин Н. В., Дубровин А. В., Новикова Н. И., Солдатова В. В., Зайцев С. Ю. Таксономическая и функциональная характеристика микробиоты рубца лактирующих коров под влиянием пробиотика целлюлоза-бактерина+. *Сельскохозяйственная биология*. 2020;55(6):1204–1219. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.6.1204rus> EDN: DIXEBM
- Yyldyrym E. A., Laptev G. Yu., Ilyina L. A., Dunyashev T. P., Tyurina D. G., Filippova V. A., Brazhnik E. A., Tarlavin N. V., Dubrovin A. V., Novikova N. I., Soldatova V. V., Zaytsev S. Yu. The influence of a dietary enterococcus faecium strain-based additive on the taxonomic and functional characteristics of the rumen microbiota of lactating cows. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2020;55(6):1204–1219. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.6.1204rus>
107. Mu Y., Lin X., Wang Z., Wang Y., Hu Z. High-production dairy cattle exhibit different rumen and fecal bacterial community and rumen metabolite profile than low-production cattle. *MicrobiologyOpen*. 2019;8(4):e00673. DOI: <https://doi.org/10.1002/mbo3.673>
108. Indugu N., Vecchiarelli B., Baker L. D., Ferguson J. D., Vanamala J. K. P., Pitta D. W. Comparison of rumen bacterial communities in dairy herds of different production. *BMC Microbiology*. 2017;17(1):190. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12866-017-1098-z>

109. Jami E., White B. A., Mizrahi I. Potential role of the bovine rumen microbiome in modulating milk composition and feed efficiency. PLoS One. 2014;9(1):e85423. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085423>
110. Chuang S. T., Ho S. T., Tu P. W., Li K. Y., Kuo Y. L., Shiu J. S., Wang S. Y., Chen M. J. The rumen specific bacteriome in dry dairy cows and its possible relationship with phenotypes. Animals (Basel). 2020;10(10):1791. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10101791>
111. Xue M. Y., Sun H. Z., Wu X. H., Liu J. X., Guan L. L. Multi-omics reveals that the rumen microbiome and its metabolome together with the host metabolome contribute to individualized dairy cow performance. Microbiome. 2020;8(1):64. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00819-8>
112. Wang X., Zeng H., Xu J., Zhai Y., Xia H., Xi Y., Han Z. Characteristics of ruminal microbiota and metabolome in Holstein cows differing in milk protein concentrations. Journal of Animal Science. 2022;100(11):skac253. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skac253>
113. Zhang C., Wang M., Liu H., Jiang X., Chen X., Liu T., Yin Q., Wang Y., Deng L., Yao J., Wu S. Multi-omics reveals that the host-microbiome metabolism crosstalk of differential rumen bacterial enterotypes can regulate the milk protein synthesis of dairy cows. Journal of Animal Science Biotechnology. 2023;14(1):63. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00862-z>
114. Zang X. W., Sun H. Z., Xue M. Y., Zhang Z., Plastow G., Yang T., Guan L. L., Liu J. X. Heritable and nonheritable rumen bacteria are associated with different characters of lactation performance of dairy cows. ASM Journals. 2022;7(5):e0042222. DOI: <https://doi.org/10.1128/msystems.00422-22>

Сведения об авторах

✉ **Лиходеевский Георгий Александрович**, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярных и биологических исследований, ФГБОУ ВО Уральский государственный аграрный университет, ул. Карла Либкнехта, д. 42, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2616-2166>, e-mail: georglihodey@gmail.com

Богатова Полина Сергеевна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярных и биологических исследований, ФГБОУ ВО Уральский государственный аграрный университет, ул. Карла Либкнехта, д. 42, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6584-2394>

Лиходеевская Оксана Евгеньевна, кандидат биол. наук, доцент, зав. лабораторией молекулярных и биологических исследований, ФГБОУ ВО Уральский государственный аграрный университет, ул. Карла Либкнехта, д. 42, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5976-6030>

Information about the authors

✉ **Georgiy A. Lihodeevsky**, postgraduate, junior researcher, the Laboratory of Molecular and Biological Research, Ural State Agricultural University, Karl Liebknecht Street, 42, Yekaterinburg, Russian Federation, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2616-2166>, e-mail: georglihodey@gmail.com

Polina S. Bogatova, postgraduate, junior researcher, the Laboratory of Molecular and Biological Research, Ural State Agricultural University, Karl Liebknecht Street, 42, Yekaterinburg, Russian Federation, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6584-2394>

Oksana E. Lihodeevskaya, PhD in Biological Science, associate professor, Head of the Laboratory of Molecular and Biological Research, Ural State Agricultural University, Karl Liebknecht Street, 42, Yekaterinburg, Russian Federation, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5976-6030>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.172-180>

УДК 631.527:633.14:632.938.1

Иммунологическая структура и урожайность сортов озимой ржи селекции Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого

© 2024. Л. М. Щеклеина✉, Т. К. Шешегова, Е. И. Уткина

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Исследования выполнены в условиях Кировской области (2019–2023 гг.). На провокационно-инфекционных фонах снежной плесени, корневых гнилей, спорыньи, мучнистой росы, бурой и стеблевой ржавчины изучали иммунологическое состояние и урожайность 15 сортов озимой ржи, созданных за 73-летний период. С учетом методов селекции, используемого исходного материала, года создания они были условно распределены на пять последовательных периодов селекции и сортосмены: I – Вятка 2, Кировская 89; II – Фалёнская 4, Снежана, Рушник; III – Флора, Графиня, Батист; IV – Лика, Талица; V – Симфония, Гармония, Графит, Графит ФП, Перепел. При учёте болезней использовали общеизвестные методики. Исследования показали, что в результате селекции у вновь создаваемых сортов отмечено снижение развития на искусственных инфекционных фонах корневых гнилей (Флора, Перепел, Гармония – степень поражения 14,6 %, 15,5 и 15,0 %) и спорыньи (Флора, Графиня, Батист, Лика, Симфония, Графит ФП, Гармония – поражение 11,4...15,9 %, засорённость зерна склеротиями – 0,38...1,84 %). У сортов I периода селекции степень поражения корневыми гнилями составила 18,8 %, спорыньей – 31,7 %. Отсутствует прогресс в селекции на устойчивость к мучнистой росе и видам ржавчины. Наиболее урожайными являются сорта Лика и Батист (769,3 и 738,7 г/м²), которые существенно превышают стандарт Фалёнская 4 (578,8 г/м²). Выявлена тесная и значимая ($P \geq 0,05$) зависимость между урожайностью сортов озимой ржи и отрастанием растений после поражения снежной плесенью ($r = 0,693...0,830$), а также засоренностью зерна склеротиями ($r = -0,531...-0,712$). Между урожайностью озимой ржи и развитием других изученных болезней связь несущественная и слабая. Учитывая высокую вредоносность снежной плесени и спорыньи в регионе исследований, необходимо и далее осуществлять селекционное улучшение сортов по этим признакам, а также по повышению устойчивости к мучнистой росе и видам ржавчины.

Ключевые слова: *Secale cereale* L., сорта, этапы селекции, грибные болезни, иммунологическая оценка, продуктивность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» (тема FNWE-2022-0007).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К., Уткина Е. И. Иммунологическая структура и урожайность сортов озимой ржи селекции Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):172–180. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.172-180>

Поступила: 14.02.2024

Принята к публикации: 20.03.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

Immunological structure and yield of winter rye varieties bred by the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky

© 2024. Lucia M. Shchekleina✉, Tatyana K. Sheshegova, Elena I. Utkina

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The study was carried out in the conditions of Kirov region in 2019–2023. Against provocative and infectious backgrounds of snow mold, root rot, ergot, powdery mildew, leaf and stem rust, the immunological state and yield of 15 varieties of winter rye created over a 73-year period were studied. Taking into account the breeding methods, the source material used and the year of creation, they were conditionally distributed over five successive periods of breeding and variety change: I – Vyatka 2, Kirovskaya 89; II – Falenskaya 4, Snezhana, Rushnik; III – Flora, Grafinya, Batist; IV – Lika, Talitsa; V – Symphoniya, Garmoniya, Graphit, Graphit FP, Perepel. When recording diseases, well-known methods were used. Research has shown that as a result of breeding, on artificial infectious backgrounds newly created varieties showed a decrease in the development of root rot (Flora, Perepel, Garmoniya – degree of damage 14.6 and 15.5 and 15.0 %) and ergot (Flora, Grafinya, Batist, Lika, Symphoniya, Graphit FP, Garmoniya – damage 11.4...15.9 %), grain contamination with sclerotia – 0.38...1.84 %. In varieties of the I period of breeding the degree of root rot infection was 18.8 %, ergot infection – 31.7 %. There is no progress in breeding for resistance to powdery mildew and rust types. The most productive varieties are Lika and Batist (769.3 and 738.7 g/m²), which

significantly exceed the Falenskaya 4 standard (578.8 g/m²). A close and significant dependence ($p \geq 0.95$) was revealed between the yield of winter rye varieties and regrowth of plants after snow mold infection ($r = 0.693...0.830$) as well as grain contamination with sclerotia ($r = -0.531...-0.712$). The relationship between the yield of winter rye and the development of other studied diseases is insignificant and weak. Considering the high harmfulness of snow mold and ergot in the research region, it is necessary to continue to carry out breeding improvement of varieties for these characteristics, as well as to increase resistance to powdery mildew and types of rust.

Keywords: *Secale cereale* L., varieties, stages of breeding, fungal diseases, immunological assessment, productivity

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme FNWE-2022-0007).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citations: Shchekleina L. M., Sheshhegova T. K., Utkina E. I. Immunological structure and yield of winter rye varieties bred by the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):172–180. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.172-180>

Received: 14.02.2024

Accepted for publication: 20.03.2024

Published online: 24.04.2024

Озимая рожь – важная продовольственная культура в мировом земледелии [1, 2, 3]. Уникальность ее заключается в высокой зимостойкости [4, 5], выносливости к почвенной засухе, алюмо- и кислотоустойчивости [6], способности произрастать на низкоплодородных почвах [7, 8], сдерживать развитие сорных растений, защищать почву от эрозии и улучшать её структуру, созревать раньше других зерновых культур [9]. Однако одним из недостатков многих отечественных и зарубежных сортов ржи является восприимчивость к грибным болезням [10, 11, 12].

На территории Северо-Восточного региона европейской части Российской Федерации в посевах озимой ржи практически ежегодно диагностируются снежная плесень (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & I. C. Hallett), корневые гнили (*Fusarium* Link.: *F. culmorum* (W.G.Sm.) Sacc, *F. sporotrichioides* Sherb. и др.), мучнистая роса (*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. secalis Marchal.), бурая ржавчина (*Puccinia recondita* Roberge ex Desm.), стеблевая ржавчина (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. secalis (Erikss. et Henn.)), спорынья (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.). Периодически та или иная болезнь достигают эпифитотийного уровня развития [11, 12]. Так, за 10-летний период экономически значимое проявление снежной плесени отмечалось с частотой 9–10 раз, корневых гнилей – 3–5 раз, фузариоза колоса – 3–4 раза, мучнистой росы – 4–5 раз, бурой ржавчины – 5–7 раз и стеблевой – 3–4 раза. Потери урожая зерна составили от 10 до 30 % [10, 13, 14].

Одной из прогрессирующих болезней озимой ржи становится спорынья, которая встречается во всех географических зонах при наличии факторов, способствующих циклу развития гриба *C. purpurea*. Наиболее благоприятными условиями для распространения

этой болезни являются зоны с влажностью воздуха более 70 % и температурой около +20 °C в период цветения растений, что характерно для Беларуси, Дальнего Востока, Северо-Востока европейской части России [15]. В Кировской области за последние 20 лет распространение спорыньи отмечено на уровне 0,2–1,7 %, максимальное – 5 % (2017 г.) [16].

Следует отметить, что сорта озимой ржи селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока занимают в озимом зерновом клине Кировской области 62,5 %, по Волго-Вятскому региону – 25 % [17]. Учитывая частоту проявления и вредность болезней, многолетняя селекция этой культуры в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока направлена, в т. ч. на повышение устойчивости к комплексу грибных болезней в меняющихся агротехнологических и климатических условиях.

Цель исследований – изучить иммунологическую структуру и уровень урожайности сортов озимой ржи селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, относящихся к разным этапам их создания.

Научная новизна – впервые проведен сравнительный анализ сортов озимой ржи, созданных в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока за 73-летний период, по иммунологическому состоянию и продукционному потенциалу, обозначены приоритеты для их дальнейшего селекционного улучшения.

Материал и методы. Исследования выполнены в ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого» в 2019–2023 гг. На фитопатологическом участке изучали 15 сортов озимой ржи, созданных за 73-летний период, из них сорта Вятка 2, Кировская 89, Фалёнская 4, Снежана, Рушник, Флора, Графиня и Батист внесены в Государственный реестр селекционных достижений РФ, Лика и Талица проходят государ-

ственное испытание, Симфония, Гармония, Графит ФП, Графит и Перепел изучаются в питомнике конкурсного испытания. Площадь делянок – 1 м², повторность трёхкратная.

Полевые опыты закладывали в соответствии с методическими указаниями¹. Изучение сортифта проводили на искусственных инфекционных фонах по снежной плесени, корневым гнилям и спорынье с использованием общеизвестных методик В. К. Неофитовой², М. Ф. Григорьева³, Т. Миданер с соавт. (Т. Miedaner et al.) [18]. Восприимчивость к мучнистой росе и видам ржавчины оценивали в провокационных условиях, которые создавали путем весеннего посева озимой ржи по краям фитопатологического участка.

Поражение снежной плесенью учитывали весной до боронования посевов, а отрастание – через неделю после возобновления вегетации, определяя глазомерно процент площади делянки, занятой поражёнными и сохранившимися растениями.

Сорта по устойчивости к корневым гнилям⁴ (*Fusarium* spp.) характеризовали по признаку «развитие болезни»: иммунные – симптомов болезни нет; высокоустойчивые – развитие болезни 5–10 %; умеренно устойчивые – 11–15 %; среднеустойчивые – 16–25 %; слабоустойчивые образцы – более 25 %. Учёт степени поражения растений проводили при полной спелости зерна.

Интенсивность поражения листьев мучнистой росой проводили по шкале ВИР⁵: 0 баллов – отсутствие болезни (иммунитет); 1 балл – единичное поражение (1–10 % – высокая устойчивость); 2 балла – слабый налет на листьях и междоузлиях нижнего яруса (11–25 % – устойчивость); 3 балла – умеренный налет на листьях и междоузлиях нижнего листа (26–40 % – средняя устойчивость); 4 балла – обильный налет, особенно на нижних листьях (41–60 % – слабая устойчивость); 5 баллов – сильное поражение листьев и междоузлий (более 80 % поверхности листьев – высокая восприимчивость). Интенсивность поражения листьев налетом гриба *B. graminis* оценивали в период «трубкавание - колошение».

Характеристику сортов по устойчивости к бурой и стеблевой ржавчинам давали на основании шкалы Т. Д. Страхова и Л. Ф. Русакова⁶: 0 баллов – отсутствие признаков болезни (иммунитет); 1 балл – крайне слабое поражение, единичные мелкие уредопустулы возбудителя (1–20 % – высокая устойчивость); 2 балла – слабое поражение, уредопустулы небольшого или среднего размера, некроз (21–40 % – устойчивость); 3 балла – среднее поражение, уредопустулы среднего размера, некроза нет (41–60 % – средняя устойчивость); 4 балла – сильное поражение, уредопустулы сливающиеся, некроза нет (61–80 % – слабая устойчивость); 5 баллов – крайне сильное поражение, обильные уредопустулы (81–100 % – высокая восприимчивость). Учет видов ржавчины проводили в период их максимального развития, что обычно проявляется в фазу цветения (бурая) и молочной спелости зерна (стеблевая).

При создании искусственного инфекционного фона на спорынью использовали споровую суспензию конидий *S. purpurea*, которую вносили шприцом в цветки средней части колоса в начале колошения растений. Концентрация спор в инокуляте 5х10⁵ конидий/мл. Учет болезни проводили по двум показателям: «поражение», отражающее процентное содержание пораженных растений в анализируемой выборке, и «засорённость» – процентное отношение весовой массы склероциев с делянки к массе зерна с неё. Устойчивость сортов к спорынье определяли по шкале Т. Миданер с соавт. (Т. Miedaner et al.) [18], согласно которой при распространении болезни в посевах от 0 до 0,5 % и наличии склероциев в анализируемой выборке от 0 до 0,01 % сорт относится к высокоустойчивым; от 0,5 до 1,5 % и от 0,01 до 0,10 % – к среднеустойчивым; от 1,5 до 3,0 % и от 0,10 до 0,30 % и выше – к восприимчивым.

Статистическую обработку проводили методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализов в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07.) и Microsoft Office Excel.

¹Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. Вып. 2. Ч. 2. 230 с.; Кобылянский В. Д., Королёва Л. А. Методические указания по селекции озимой ржи на устойчивость к грибным болезням. Л., 1977. 26 с.

²Неофитова В. К. Методы полевой оценки устойчивости сортов озимых зерновых культур к снежной плесени. Минск, 1976. 4 с.

³Григорьев М. Ф. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. Л.: ВАСХНИЛ, ВИР, 1976. 59 с.

⁴Там же.

⁵Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985.

⁶Гешеле Э. Э. Методическое руководство по фитопатологической оценке зерновых культур. Одесса: ВАСХНИЛ, 1971. 178 с.

Результаты и их обсуждение. Сорта озимой ржи с учетом применяемых в работе методов селекции, года районирования, долговечности в селекционном процессе и производстве распределили на пять последовательных периодов селекции и сортосмены: I – Вятка 2 (1950 г., метод массового отбора), Кировская 89 (1993 г., метод индивидуального отбора); II – Фалёнская 4 (1999 г., гибридизация и индивидуальный отбор), Снежана (2004 г., индивидуальный многократный отбор на искусственном инфекционном фоне *M. nivale*), Рушник (2008 г., индивидуальный отбор, в т. ч. на инфекционном фоне *M. nivale*); III – Флора (2010 г. индивидуальный отбор, в т. ч. на инфекционном фоне *Fusarium spp.*), Графиня (2012 г., индивидуальный многократный отбор на инфекционном фоне *M. nivale*, гибридизация с источниками устойчивости к снежной плесени), Батист (2023 г., индивидуальный отбор, в т. ч. на инфекционном фоне *Fusarium spp.*); IV – Лика (2021 г., индивидуальный отбор, в т. ч. на инфекционном фоне *Fusarium spp.*), Талица (2023 г. индивидуальный отбор, в т. ч. на инфекционном фоне *Fusarium spp.*); V – Симфония, Гармония, Графит, Графит ФП, Перепел (индивидуальный отбор, в т. ч. на инфекционном фоне *Fusarium spp.* и *Claviceps purpurea*) (табл. 1; рис.).

Исследования выявили различное иммунологическое состояние сортов в последовательной селекции. Все новые сорта не превышали по выносливости к снежной плесени высокозимостойкий Вятка 2 [19]. Начиная со второго периода селекции, отрастание после поражения снизилось в среднем по сортам на 7,6–18,1 %. Можно лишь отметить сорта Флора и Лика с состоянием признака на уровне сорта Вятка 2. Снижение выносливости к снежной

плесени происходило, в т. ч. и в результате отсутствия за последние 12 лет целенаправленной проработки селекционного материала и отбора источников в условиях жесткого инфекционного фона *M. nivale*. Несмотря на высокую частоту проявления этой болезни в Кировской области, степень поражения далеко не однозначна.

Поражение на естественном фоне *M. nivale* варьирует от 30 до 100 %, на инфекционном фоне – постоянно 100 %. При искусственном заражении создается более выравненный фон ($CV = 40,0 \%$), чем без него ($CV = 24,6 \%$), что очень важно для достоверной оценки селекционного материала и отбора устойчивых биотипов [14].

По отношению к корневым гнилям отмечена тенденция уменьшения их развития у некоторых сортов (Флора, Перепел, Гармония) по сравнению с восприимчивым – Кировская 89.

Исследования по повышению устойчивости озимой ржи к спорынье в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока начаты с 2009 г. В процессе искусственной инокуляции суспензией конидий *C. purpurea* выявлены несколько наименее поражаемых сортов: Флора, Графиня, Лика, Батист, Симфония, Гармония, Графит ФП. Отклонение иммунологических признаков у них по отношению к предыдущему периоду селекции составило $-12,6...+0,6 \%$ (поражение) и $-1,22...+0,44 \%$ (засоренность зерна склероциями) (рис.). Сорта сохраняют признак устойчивости в течение трех-пяти лет изучения и могут быть использованы в селекции в качестве источников. Среди них, популяции Гармония и Симфония созданы с использованием источников устойчивости к спорынье, выявленных и отобранных на изолированном фитопатологическом участке.

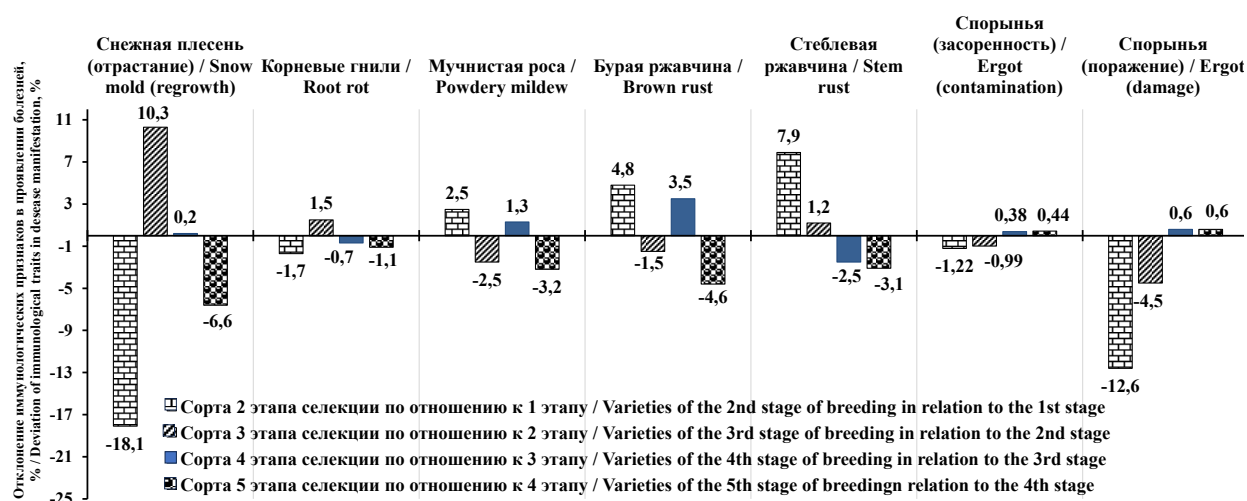


Рис. Изменчивость проявления болезней у сортов озимой ржи в разные периоды селекции /
Fig. Variability of disease manifestation in winter rye varieties in different periods of breeding

Таблица 1 – Динамика проявления болезней грибной этиологии у сортов озимой ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока в ряду последовательной селекции (провокационно-инфекционные фоны (2019–2023 гг.)), % /
Table 1 – Dynamics of the manifestation of diseases of fungal etiology in winter rye varieties bred by FARC North-East in the successive breeding (provocative and infectious backgrounds (2019–2023)), %

Сорт / Variety	Отрастание после поражения снежной плесенью / Regrowth after snow mold damage	Степень поражения / Degree of damage					Спорынья / Ergot	
		мучнистой росой / powdery mildew	бурой ржавчиной / brown rust	стеблевой ржавчиной / stem rust	корневыми гнилями / root rot	поражение / damage	поражение / damage	засорённость зерна склеротциями / sclerotia grain contamination
Вятка 2 / Vyatka 2	87,0±3,00	21,8±13,63	28,7±3,57	14,6±5,64	18,5±2,36	37,0±16,05		2,20±0,43
Кировская 89 / Kirovskaya 89	82,5±1,29	18,1±10,75	23,5±4,95	10,3±4,38	19,0±4,25	26,4±10,22		3,00±0,22
Среднее за I период селекции / Average for the I breeding period	84,8	20,0	26,1	12,5	18,8	31,7		2,60
Фалёнская 4 – ст. / Falenskaya 4 – st.	65,0±8,37	25,7±14,06	33,7±4,50	25,7±8,86	16,2±3,90	18,7±4,02		1,37±0,14
Снежана / Snezhana	65,0±7,75	19,3±12,05	29,5±6,28	15,8±5,59	18,7±4,54	22,2±4,99		1,40±0,16
Рушник / Rushnik	70,0±8,80	22,5±13,94	29,5±4,74	19,6±4,68	16,5±3,75	16,4±3,24		1,38±0,17
Среднее за II период селекции / Average for the II breeding period	66,7	22,5	30,9	20,4	17,1	19,1		1,38
Флора / Flora	84,0±6,20	18,9±12,27	28,4±5,35	20,1±6,85	14,6±3,50	15,9±4,57		0,40±0,07
Графиня / Grafinya	70,0±5,10	21,6±14,00	30,3±6,38	23,1±7,78	22,5±4,12	13,3±6,15		0,38±0,13
Среднее за III период селекции / Average for the III breeding period	77,0	20,3	29,4	21,6	18,6	14,6		0,39
Батист / Batist	76,7±2,58	19,6±9,65	44,5±17,81	20,9±6,45	16,9±3,75	11,4±3,36		0,87±0,80
Лика / Lika	85,0±3,16	19,6±9,65	22,0±5,95	14,4±4,92	18,3±2,52	14,6±6,16		0,58±0,26
Талица / Talica	70,0±7,11	25,6±17,39	32,3±4,12	22,1±5,87	18,5±3,83	19,6±8,88		0,85±1,11
Среднее за IV период селекции / Average for the IV breeding period	77,2	21,6	32,9	19,1	17,9	15,2		0,77
Симфония / Simfoniya	72,0±4,06	21,5±14,74	29,8±11,57	15,1±3,45	19,5±3,61	12,8±4,51		0,90±0,33
Гармония / Garmoniya	68,0±6,20	17,7±11,37	30,3±10,53	16,2±5,57	15,0±4,20	14,3±4,43		0,66±0,81
Графит ФП / Grafit FP	71,7±1,29	16,6±9,90	17,5±3,65	19,8±7,28	17,0±2,49	11,7±5,79		1,84±1,19
Графит / Grafit	70,5±4,38	16,6±9,66	33,4±12,48	15,0±3,67	16,9±3,34	21,1±11,78		1,62±0,81
Перепел / Perepel	70,8±7,49	19,5±13,15	30,4±8,54	13,9±4,73	15,5±3,06	18,9±11,97		1,01±0,93
Среднее за V период селекции / Average for the V breeding period	70,6	18,4	28,3	16,0	16,8	15,8		1,21
Среднее по сортам / Average by variety	73,9	20,3	29,6	17,8	17,6	18,3		1,23

В ходе селекционного процесса не улучшилось состояние сортов по устойчивости к мучнисто-росяной и ржавчинной инфекции, хотя большинство из них в провокационных условиях характеризуются как устойчивые к болезням. Наименьшая степень поражения мучнистой росой (16,6 %) и бурой ржавчиной (17,5 %) отмечена у новой популяции Графит ФП, стеблевой ржавчиной (10,3 %) – у сорта Кировская 89, который относится к числу первых в стране генотипов с неспецифической устойчивостью к ржавчинной инфекции [14]. Признак сохраняется с периода районирования (1993 г.) по настоящее время. Следует отметить, что изучение генофонда озимой ржи и отбор устойчивых биотипов при искусственной инокуляции *B. graminis* и *Puccinia* spp. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока закончили проводить в конце

90-х годов. Усилия селекционеров были сконцентрированы в основном на повышении продуктивности растений и урожайности. Изучение генофонда озимой ржи на фитопатологическом участке показало, что урожайность сортов второго периода селекции составила в среднем 548,8 г/м², третьего – 604,1 г/м², четвертого – 661,5 г/м², пятого – 543,2,9 г/м², что на 85,8...204,1 г/м² больше первого периода (табл. 2). Следует отметить наиболее успешную в этом направлении селекцию третьего и четвертого периодов, в которых созданы наиболее урожайные сорта Флора, Лика, Батист при среднем уровне признака 645,3 г/м², 769,3 и 738,7 г/м² (НСР₀₅ = 175,4; P = 6,2 %). Среди перспективных популяций можно выделить Перепел, Графит ФП и Симфония с урожайностью 654,2 г/м², 629,5 и 611,2 г/м².

Таблица 2 – Урожайность сортов озимой ржи по периодам селекции в провокационно-инфекционных условиях развития грибных болезней (2019–2023 гг.) /
Table 2 – Productivity of rye varieties by breeding periods under provocative and infectious conditions of the development of fungal diseases (2019–2023)

Сорт / Variety	Масса зерна, г/м² / Grain weight, g/m²		
	среднее по сорту / average by variety	среднее за период селекции / average for the breeding period	± к I периоду селекции / ± to the I breeding period
I период селекции / I selection period			
Вятка 2 / Vyatka 2	460,3±16,75	457,4	-
Кировская 89 / Kirovskaya 89	454,4±155,33		
II период селекции / II breeding period			
Фалёнская 4 – ст. / Falenskaya 4 – st.	578,8±92,86	548,8	91,4
Снежана / Snezhana	492,6±132,20		
Рушник / Rushnik	575,1±59,15		
III период селекции / III breeding period			
Флора / Flora	645,3±116,91	604,1	146,7
Графиня / Grafinya	562,8±73,66		
IV период селекции / IV breeding period			
Батист / Batist	738,8±180,37	661,5	204,1
Лика / Lika	769,3±120,84		
Талица / Talitsa	476,4±145,20		
V период селекции / V breeding period			
Симфония / Simfoniya	611,2±157,83	543,2	85,8
Гармония / Garmoniya	404,3±147,27		
Графит ФП / Grafit FP	629,5±197,22		
Графит / Grafit	416,9±188,87		
Перепел / Perepel	654,2±161,21		
Среднее по сортам / Average by varieties	564,7	-	-
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	175,4	-	-

Однако многие сорта в условиях повышенной инфекционной нагрузки фитопатогенов характеризуются значительной нестабильностью признака, о чем косвенным образом свидетельствует динамика признака в годы исследований. Это возможно снижает их селекционную ценность как источника признака. К наиболее адаптивным и пластичным можно отнести «старые» сорта: Вятка 2, Фалёнская 4, Рушник, Графиня.

Между урожайностью и устойчивостью к некоторым болезням выявлено наличие отрицательной взаимосвязи в той или иной степени. Тесная и значимая ($P \geq 0,05$) зависимость обнаружена между урожайностью и отращиванием после поражения снежной плесенью ($r = 0,693 \dots 0,830$), засоренностью зерна склеротциями ($r = -0,531 \dots -0,712$). Слабая и незначимая связь отмечена между урожайностью и степенью поражения корневыми гнилями ($r = -0,253 \dots -0,390$), мучнистой росой ($r = -0,291 \dots -0,442$), бурой ржавчиной ($r = -0,193 \dots -0,460$), стеблевой ржавчиной ($r = -0,070 \dots -0,332$). Выявленные взаимосвязи отражают приоритеты дальнейшей

селекции озимой ржи на фитоиммунитет для условий Северо-Восточного региона.

Заключение. Многолетняя селекция озимой ржи в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имеет положительные тенденции в повышении устойчивости вновь создаваемых сортов к корневым гнилям и спорынье. Снижение развития корневых гнилей отмечено у сортов Флора, Перепел, Гармония, спорыньи – Флора, Графиня, Батист, Лика, Симфония, Графит ФП, Гармония. Отсутствует в настоящее время прогресс в селекции на устойчивость к мучнистой росе и видам ржавчины, за исключением новой популяции Графит ФП, что может быть связано с изучением генофонда озимой ржи на естественных фонах возбудителей и включением в селекционный процесс недостаточно устойчивых генотипов. Значительные успехи связаны с повышением урожайности новых сортов, особенно в третьем и четвертом периодах селекции. Наиболее урожайными являются Флора, Лика, Батист, Перепел, Графит ФП и Симфония ($611,2 \dots 769,3 \text{ г/м}^2$).

Список литературы

1. Гончаренко А. А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. М., 2014. 372 с.
2. Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Агроэкологическая оценка сортов озимой ржи по хозяйственно-биологическим и адаптивным показателям. Пермский аграрный вестник. 2023;(1(41)):63–71. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_41_63 EDN: TKIJBV
3. Урбан Э. П. Селекция адаптивных сортов озимой ржи с комплексом хозяйственно полезных признаков. Земледелие и селекция в Беларуси. 2022;(58):304–308. Режим доступа: <https://elibrary.ru/hwzkfv> EDN: HWZKfV
4. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С., Гильмуллина Л. Ф. Особенности селекции озимой ржи на адаптивность в Республике Татарстан. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(5):11–14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23608953> EDN: TWQMWN
5. Hackauf B., Haffke S., Fromme F. J., Roux S. R., Kusterer B., Musmann D., Kilian A., Miedaner T. QTL mapping and comparative genome analysis of agronomic traits including grain yield in winter rye. Theoretical and Applied Genetics. 2017;130(9):1801–1817. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-017-2926-0>
6. Чайкин В. В., Тороп А. А., Рыльков А. И. Зимо- и засухоустойчивость озимой ржи в условиях Центрально-Черноземного региона. Земледелие. 2017;(2):32–36. Режим доступа: https://jurzemledelie.ru/images/dos/Zemledelie_2_2017.pdf
7. Потапова Г. Н., Галимов К. А., Зобнина Н. Л. Продуктивность и адаптивность сортов озимой ржи на Среднем Урале. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(10):28–33. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11004> EDN: GGNUZZ
8. Чайкин В. В., Тороп А. А., Тороп Е. А. Создание и характеристика сорта озимой ржи Таловская 45. Зерновое хозяйство России. 2022;14(6):29–33. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-83-6-29-33> EDN: TRGTDN
9. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С. Исходный материал для селекции озимой ржи (*Secale cereale* L.). Вестник КрасГАУ. 2018;(3):19–24. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35199892> EDN: XSFUTZ
10. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Болезни *Secale cereale* L. в Кировской области и генетические источники устойчивости для селекции. Вестник КрасГАУ. 2020;(6):86–92. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-6-86-92> EDN: GKQQSO
11. Николаев С. В., Зубаирова У. С., Сколотнева Е. С., Орлова Е. А., Афонников Д. А. Системный подход к моделированию развития листостебельных грибных инфекций пшеницы. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(1):100–109. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.468> EDN: YXMGCL

12. Маннапова Г. С., Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Сайфутдинова Д. Д., Гараева Н. Ш., Иванова И. О., Павлова С. Ю. Генофонд озимой ржи для селекции на устойчивость к снежной плесени. Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology (PlantGen2023): materials VII International scientific conference "Genetics, genomics, bioinformatics and plant biotechnology". Kazan: «Fen» Publishing House, 2023. С. 251.
13. Щеклеина Л. М. Мониторинг болезней озимой ржи в Кировской области и возможные направления селекции на иммунитет. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):124–132. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.124-132> EDN: PASXSJ
14. Кедрова Л. И. Озимая рожь в Северо-Восточном регионе России. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. 158 с.
15. Рукшан Л. В. Спорынья ржи (возбудитель *Claviceps purpurea*). Минск: Издательский Центр БГУ, 2003. 216 с.
16. Щеклеина Л. М. Влияние погодных факторов на отдельные периоды развития гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul и уровень вредоносности спорыньи в Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(2):134–143. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.134-143> EDN: LBQKTQ
17. Уткина Е. И., Кедрова Л. И., Набатова Н. А., Псарева Е. А., Парфенова Е. С. Урожайный потенциал сортов озимой ржи в условиях Волго-Вятского региона. Успехи современного естествознания. 2020;(1):12–17. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42320387> EDN: LJHDVM
18. Miedaner T., Mirdita V., Rodemann B., Drobeck T., Rentel D. Genetic variation of winter rye cultivars for their ergot (*Claviceps purpurea*) reaction tested in a field design with minimized interplot interference. Plant Breeding. 2010;129(1):58–62. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1439-0523.2009.01646.X>
19. Уткина Е. И., Кедрова Л. И., Парфенова Е. С., Шамова М. Г. Влияние снежной плесени на урожайность озимой ржи в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(4):315–323. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.315-323> EDN: DMDHAG

References

1. Goncharenko A. A. Current issues of winter rye breeding. Moscow, 2014. 372 p.
2. Safonova I. V., Aniskov N. I. Agroecological assessment of winter rye varieties by economic, biological and adaptive indicators. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2023;(1(41)):63–71. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_41_63
3. Urban E. P. Breeding of winter rye adaptive varieties with a set of economically valuable traits. *Zemledelie i selektsiya v Belarusi* = Arable Farming and Plant Breeding in Belarus. 2022;(58):304–308. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/hwzkfv>
4. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S., Gilmullina L. F. Special features of breeding of winter rye on adaptability in Republic of Tatarstan. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2015;29(5):11–14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23608953>
5. Hackauf B., Haffke S., Fromme F. J., Roux S. R., Kusterer B., Musmann D., Kilian A., Miedaner T. QTL mapping and comparative genome analysis of agronomic traits including grain yield in winter rye. *Theoretical and Applied Genetics*. 2017;130(9):1801–1817. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-017-2926-0>
6. Chaykin V. V., Torop A. A., Ryl'kov A. I. Winter and drought resistance of winter rye under conditions of the Central Chernozem region. *Zemledelie*. 2017;(2):32–36. (In Russ.). URL: https://jurzemledelie.ru/images/dos/Zemledelie_2_2017.pdf
7. Potapova G. N., Galimov K. A., Zobnina N. L. Productivity and adaptability of winter rye varieties in the Middle Urals. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(10):28–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11004>
8. Chaikin V. V., Torop A. A., Torop E. A. Development and characteristics of the winter rye variety 'Talovskaya 45'. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2022;(6):29–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-83-6-29-33>
9. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S. Initial material for winter rye (*Secale cereale* L.) selection. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2018;(3):19–24. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35199892>
10. Shchekleina L. M., Sheshhegova T. K. The diseases *Secale cereale* L. in kirov region and genetic sources of sustainability for winter rye selection. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2020;(6):86–92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-6-86-92>
11. Nikolaev S. V., Zubairova U. S., Skolotneva E. S., Orlova E. A., Afonnikov D. A. A system approach to the modeling of fungal infections of the wheat leaf. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2019;23(1):100–109. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.468>
12. Mannapova G. S., Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Say-futdinova D. D., Garaeva N. Sh., Ivanova I. O., Pavlova S. Yu. The gene pool of winter rye for breeding for resistance to snow mold. Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology (PlantGen2023): materials VII International scientific conference "Genetics, genomics, bioinformatics and plant biotechnology". Kazan: «Fen» Publishing House, 2023. pp. 251.

13. Shchekleina L. M. Monitoring of winter rye diseases in Kirov region and possible trends of breeding for immunity. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):124–132. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.124-132>
14. Kedrova L. I. Winter rye in the Northeastern region of Russia. Kirov: *NIISKh Severo-Vostoka*, 2000. 158 p.
15. Rukshan L. V. Ergot of rye (causative agent of *Claviceps purpurea*). Minsk: *Izdatel'skiy Tsentr BGU*, 2003. 216 p.
16. Shchekleina L. M. Influence of weather factors on separate periods of fungus *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul development and level of ergot harmfulness in Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(2):134–143. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.134-143>
17. Utkina E. I., Kedrova L. I., Nabatova N. A., Psareva E. A., Parfenova E. S. Yield capacity of winter rye varieties in conditions of Volgo-Vyatsk region. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2020;(1):12–17. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42320387>
18. Miedaner T., Mirdita V., Rodemann B., Drobeck T., Rentel D. Genetic variation of winter rye cultivars for their ergot (*Claviceps purpurea*) reaction tested in a field design with minimized interplot interference. *Plant Breeding*. 2010;129(1):58–62. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1439-0523.2009.01646.X>
19. Utkina E. I., Kedrova L. I., Parfyonova E. S., Shamova M. G. Influence of snow mold on winter rye productivity in the Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(4):315–323. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.315-323>

Сведения об авторах

✉ **Щекленна Люция Муллахметовна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3589-5524>, e-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Шешегова Татьяна Кузьмовна, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2371-4949>

Уткина Елена Игоревна, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой ржи, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5650-6906>

Information about the authors

✉ **Lucia M. Shchekleina**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Immunity and Plant Protection, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3589-5524>, e-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Tatyana K. Sheshegova, DSc in Biological Science, leading researcher, the Laboratory of Immunity and Plant Protection, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2371-4949>

Elena I. Utkina, DSc in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Winter Rye, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5650-6906>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Влияние некорневых подкормок на урожайность и качество плодов сливы сорта Великая синяя в аридных условиях Северного Прикаспия

© 2024. Т. И. Александрова✉

ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», с. Солёное Займище, Астраханская область, Российская Федерация

Исследования проводили с целью изучения влияния некорневых подкормок комплексными удобрениями на урожайность и качество плодов сливы сорта Великая синяя в условиях Астраханской области. В опыте использованы следующие варианты обработок комплексными удобрениями: Мастер; Акварин; Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций; Акварин + Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций. Некорневые подкормки растений сливы проводили до начала цветения, после цветения и в период развития плодов. В среднем за 2021–2023 гг. некорневые обработки способствовали увеличению количества завязей сливы по сравнению с контролем (обработка водой) на 3,3...26,7 %, лучший результат получен в варианте Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций. Во всех вариантах опыта листовые подкормки увеличивали урожайность сливы сорта Великая синяя на 3,1...4,2 т/га ($НСР_{05} = 0,1$ т/га). Наибольшая урожайность плодов сливы сформировалась в варианте Акварин + Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций – 12,9 т/га (в контрольном – 8,7 т/га). Максимальные значения средней массы плодов получены в вариантах Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций и Акварин + Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций – 45,1 и 45,6 г соответственно (в контроле – 43,3 г, $НСР_{05} = 1,2$ г). Некорневые подкормки удобрениями Ультрамаг Бор совместно с Ультрамаг Кальций обеспечили более высокое содержание сахаров (14,2 %) и значение сахарокислотного индекса (17,7) в плодах сливы сорта Великая синяя (в контроле – 13,2 % и 16,5 соответственно).

Ключевые слова: фенофазы сливы, продуктивность, биохимический состав плодов, минеральные удобрения

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения Государственного задания ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (тема № FNMW-2022-0009).

Автор благодарит рецензентов за их вклад экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Александрова Т. И. Влияние некорневых подкормок на урожайность и качество плодов сливы сорта Великая синяя в аридных условиях Северного Прикаспия. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):181–188. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.181-188>

Поступила: 30.11.2023

Принята к публикации: 11.03.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

The effect of non-root fertilizing on the yield and quality of plum fruits of the Velikaya sinyaya variety in arid conditions of the Northern Precaspian Sea

© 2024. Tatiana I. Alexandrova✉

Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Solenoye Zaimishche, Astrakhan region, Russian Federation

The research was carried out in order to study the effect of non-root fertilizing using complex fertilizers on the yield and quality of plum fruits of the Velikaya sinyaya variety in the Astrakhan region. The following treatment variants with complex fertilizers were used in the experiment: Master; Aquarin; Ultramag Boron + Ultramag Calcium; Aquarin + Ultramag Boron + Ultramag Calcium. Non-root fertilizing of plum plants was carried out before flowering, after flowering and during fruit development. On average for 2021–2023 non-root treatments contributed to an increase in the number of plum ovaries compared with the control (water treatment) by 3.3...26.7 %, the best result was obtained in the variant Ultramag Boron + Ultramag Calcium. In all variants of the experiment, foliar fertilization increased the yield of plum of the Velikaya sinyaya variety by 3.1...4.2 t/ha ($LSD_{05} = 0.1$ t/ha). The highest yield of plum fruits was formed in the variant Aquarin + Ultramag Boron + Ultramag Calcium – 12.9 t/ha (in the control – 8.7 t/ha). The maximum values of the average fruit weight were obtained in the variants Ultramag Boron + Ultramag Calcium and Aquarin + Ultramag Boron + Ultramag Calcium – 45.1 and 45.6 g, respectively (in the control – 43.3 g, $LSD_{05} = 1.2$ g). Foliar fertilizing with Ultramag Boron fertilizers together with Ultramag Calcium provided a higher sugar content (14.2 %) and the value of the sugar acid index (17.7) in the fruits of the Velikaya sinyaya plum variety (at the control – 13.2 % and 16.5 respectively).

Keywords: plum phenophases, productivity, biochemical composition of fruits, mineral fertilizers

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (topic No. FNMW-2022-0009).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

For citations: Alexandrova T. I. The effect of non-root fertilizing on the yield and quality of plum fruits of the Velikaya sinyaya variety in arid conditions of the Northern Precaspian Sea. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):181–188. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.181-188>

Received: 30.11.2023

Accepted for publication: 11.03.2024

Published online: 24.04.2024

В условиях интенсивного садоводства технологические элементы, такие как системы некорневого питания растений, могут облегчить управление производством плодово-ягодных культур [1, 2].

Комплексные удобрения с различной формой и содержанием микроэлементов не только определяют эффективность их применения, но и требуют адаптации к конкретной плодовой культуре в определенных условиях окружающей среды [2, 3]. Некорневая подкормка современными комплексными удобрениями оказывает существенное влияние на повышение урожайности сортов сливы¹ [4]. Использование некорневой подкормки растений черешни способствует оптимизации процессов опыления и формирования завязей в неблагоприятных погодных условиях и, как следствие – увеличению урожайности [5].

Одним из путей интенсификации производства косточковых культур является создание высокоплотных насаждений. Уплотненные сады характеризуются высокой урожайностью, быстрым вступлением в плодоношение и высоким уровнем рентабельности. При этом площадь питания отдельных деревьев уменьшается, но их потребности в элементах минерального питания должны полностью удовлетворяться. Поэтому представляет интерес разработка специальных систем удобрения, учитывающих сортовые особенности роста и плодоношения культур при применении интенсивных технологий выращивания [6].

Изучение влияния некорневого минерального питания на урожайность и качественные показатели сортов сливы в острозасушливых условиях Астраханской области имеет большое практическое значение. Особенно это актуально для аридных условий Прикаспия, где практически ежегодно в периоды роста, формирования плодов и развития плодовых почек наблюдаются дефицит осадков, повышенные температуры воздуха и, как следствие, почвенная и воздушная засуха.

В связи с этим, изучение влияния некорневых подкормок макро- и микроудобрениями на плодоношение и качество плодов сливы на светло-каштановых почвах Астраханской области имеет большое практическое значение.

Цель исследования – изучить влияние некорневого минерального питания на урожайность и качество плодов сливы сорта Великая синяя в условиях аридной зоны Северного Прикаспия.

Научная новизна – впервые в условиях Астраханской области исследовали влияние нового комплекса удобрений для некорневых подкормок деревьев сливы на показатели урожайности и качества плодов.

Материал и методы. Изучение проводили на базе ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» в плодовом саду, территория которого относится ко второму агроклиматическому району Астраханской области, близкому по условиям к полупустыням. Почвенный покров опытного участка представлен светло-каштановыми, карбонатными, мощными и средне-мощными почвами с содержанием гумуса в пахотном горизонте 0...40 см – 1,02 %, легкогидролизуемого азота и подвижного фосфора 24,4 и 26,4 мг/кг почвы соответственно, обменного калия – 368 мг/кг почвы. Грунтовые воды залегают ниже 3,5 м, участок орошаемый.

Объектом исследований служил сорт сливы Великая синяя среднего срока созревания, привитый на карликовый подвой ВВА-1. Данный сорт адаптирован к острозасушливым условиям Астраханской области, характеризуется стабильным плодоношением².

Учеты и наблюдения проведены в период с 2021 по 2023 год на 6 типичных деревьях в трехкратной повторности. Площадь опыта – 0,2 га. Деревья сливы сорта Великая синяя посажены в 2014 году по следующей схеме: на карликовом подвое ВВА-1 – 5,0×2,0 м (1000 дер/га).

Некорневые подкормки применяли на фоне полного корневого минерального питания азофоской (N:P:K = 16:16:16), внесенной до распускания почек из расчета 60 кг/га ф. в. [7].

¹Александрова Т. И. Роль минерального питания в реализации потенциала продуктивности сортов сливы в острозасушливых условиях Северного Прикаспия: дис. ... канд. с.-х. наук. Мичуринск, 2022. 148 с.

²LePlants. Слива домашняя Великая синяя. [Электронный ресурс].

URL: <https://leplants.ru/prunus-domestica-velikaya-sinyaya/?ysclid=lte27gp617814948111> (дата обращения: 24.10.2024).

Варианты некорневых обработок минеральными удобрениями:

1. Контроль (обработка водой).
2. Мастер³.
3. Акварин⁵.
4. Ультрамаг Бор⁶ + Ультрамаг Кальций⁷.
5. Акварин + Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций.

Минеральные удобрения вносили в виде водных растворов. Сроки проведения некорневых подкормок были приурочены к прохождению определенных фенологических фаз сливы сорта Великая синяя.

В состав комплексного водорастворимого удобрения Мастер входят макроэлементы $N_{18}P_{18}K_{18}Mg_3S_6$ и микроэлементы: Cu (ЭДТА) – 0,03 %; Fe (ДТРА) – 0,12 %; Mn (ЭДТА) – 0,08 %; Mo – 0,01 %; B – 0,02 %; Zn (ЭДТА) – 0,05 %. Некорневую подкормку препаратом Мастер в дозе 5 кг/га проводили перед цветением сливы, через 10 дней после цветения, в период роста плодов.

Универсальное удобрение Акварин для листовых подкормок содержит макроэлементы $N_{18}P_{18}K_{18}Mg_2S_{1,5}$ и микроэлементы в хелатной форме: Fe (ДТПА) – 0,054 %; Zn (ЭДТА) – 0,014 %; Cu (ЭДТА) – 0,01 %; Mn (ЭДТА) – 0,042 %; Mo – 0,004 %; B – 0,02 %. Акварин применяли в дозе 2 л/га в фазы: начало цветения, после цветения, второй этап развития плодов.

Жидкое удобрение Ультрамаг Бор ($N_{3,7}B_{11}$), содержащее бор в легкоусвояемой растениями форме, использовали в начале цветения – 1 л/га.

Жидкое концентрированное бесхлорное удобрение с высоким содержанием кальция Ультрамаг Кальций ($N_{10}Ca_{17}Mg_{0,8}$ и микро-

элементы Zn – 0,02 %, Cu – 0,02, B – 0,05, Mo – 0,001 %) применяли после цветения и на втором этапе развития плодов сливы – 3 л/га

Исследования проводили по общепринятой методике⁷. На учетных деревьях отбирали одну модельную ветвь на скелетной ветви первого порядка с южной стороны длиной 1 м, на которой глазомерно подсчитывали общее количество плодов.

Статистическая обработка данных выполнена с использованием метода дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову⁸. Биохимический состав плодов проводили в лаборатории ФГБУ «ГЦАС «Астраханский»: определение массовой концентрации сахаров согласно ГОСТ 26176-2019⁹, кислот – ГОСТ ISO 750-2013¹⁰, содержание сухого вещества – ГОСТ 33977-2016¹¹.

Результаты и их обсуждение. Климат района проведения исследований – экстремально засушливый, резко континентальный с жарким засушливым летом, холодной малоснежной зимой, большой годовой и летней суточной амплитудой температуры воздуха, малым количеством осадков и большой испаряемостью. В зимний период – это длительные оттепели с последующим резким похолоданием, достаточно продолжительные периоды низких температур, возвратные заморозки. Это создает определенные трудности для сельского хозяйства и, в частности, плодовым деревьям. Лето в острозасушливых условиях Астраханской области отличается крайней жарой и сухостью климата. Высокие температуры и низкая влажность воздуха приводят к постоянной сухой погоде. Кроме того, количество осадков в год крайне малое, что приводит к дефициту влаги.

³Valagro Мастер 18.18.18 + 3Mg. [Электронный ресурс]. URL: <https://rastishkatlt.ru/udobreniya-i-stimulyatory/udobreniya/valagro-valagro/udobreniya-master-valagro/valagro-master-18-18-18-3mg/> (дата обращения: 26.10.2024).

⁴Томаты. Помидоры. Буйское удобрение Акварин универсальный для огурца, земляники, картофеля 20 г. [Электронный ресурс]. URL: https://tomatipomidori.ru/akvarin-universalnyy/?utm_referrer=yandex.ru (дата обращения: 26.10.2024).

⁵Щелково. Агрохим. Ультрамаг Бор. [Электронный ресурс]. URL: <https://betaren.ru/catalog/spetsialnye-udobreniya/mikroutdobreniya/ultramag-bor/> (дата обращения: 26.10.2024).

⁶Щелково. Агрохим. Ультрамаг Кальций. [Электронный ресурс]. URL: https://betaren.ru/catalog/spetsialnye-udobreniya/makroutdobreniya/ultramag_kalciy/?ysclid=lteag0d4455506269 (дата обращения: 26.10.2024).

⁷Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур: под общ. ред. академика РАСХН Е. Н. Седова, д. с.-х.н. Т. П. Огольцовой. Орел: изд-во «Всероссийский НИИ селекции плодовых культур», 1999. С. 46-47.

⁸Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

⁹ГОСТ 26176-2019. Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов. М.: Стандартинформ, 2019. 20 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/71328/?ysclid=lteavbebe1687718727>

¹⁰ГОСТ ISO 750-2013. Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности. М.: Стандартинформ, 2018. 8 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200106941?ysclid=ltee09dc2s29853775>

¹¹ГОСТ 33977-2016. Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения общего содержания сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2017. 15 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/64328/?ysclid=ltepdgsae99671051>

По климатическим условиям территория исследований относится к сильно аридной зоне с коэффициентом аридности 0,11...0,31 и представляет собой наиболее континентальную и засушливую часть Европейской территории России, характеризующуюся лимитированностью увлажнения, высокой вероятностью засушливых лет и высокими температурами воздуха. Продолжительность теплого периода с температурами воздуха выше 0 °С составляет 235...260 суток, а периода с температурами выше 10 °С – 165... 170 суток. Сумма положительных температур за период вегетации достигает 3600...3800 °С [7].

По сумме активных температур (выше +5 °С) периоды вегетации в годы исследований отличались незначительно (2936,9...3181,5 °С). Аналогичная ситуация прослеживается и по сумме положительных температур летних месяцев, за анализируемый период этот показатель колебался в пределах 2345,1...2360,3 °С. Для оценки условий увлажнения используется комплексный показатель – гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), который характеризует степень недостатка или избытка влаги относительно имеющихся ресурсов тепла. Все летние периоды по степени увлажнения характеризовались как сухие (ГТК – 0,17...0,32). Однако в 2023 году за вегетационный и летний периоды выпало максимальное количество осадков – 196,5 и 50,4 мм соответственно (ГТК = 0,32), тогда как в 2021 и 2022 годах в летние месяцы осадков выпало всего 28,7–34,9 мм, ГТК составил 0,17–0,29 соответственно. Наибольшее термическое напряжение всегда наблюдалось в июле-августе, температура воздуха по годам исследований достигала в это время критических значений – 39,1...40,4 °С, что приводило как к почвенной, так и воздушной засухе (табл. 1).

Начало развития генеративных органов сорта сливы Великая синяя в 2021–2023 гг. наблюдали в период с 20 по 30 марта. Основное цветение сливы произошло с 8 по 16 апреля, интенсивность цветения оценивалась в 4,5–5,0 баллов. Опадение завязи у сливы происходит в 2 этапа: первый – сразу после цветения, второй – в июне. По годам исследований у сортов сливы на модельных ветвях формировалось различное количество цветков. Некорневые обработки, в зависимости от используемого вида удобрений, в разной степени снижали опадение завязи после цветения, что согласуется с данными других исследователей [8].

Таблица 1 – Характеристика температурного режима периода вегетации сливы (2021–2023 гг.) /
Table 1 – Characteristics of the temperature regime of the plum growing season (2021–2023)

Год / Year	Сумма активных температур за период вегетации, °С / The sum of active temperatures during the growing season, °С	Сумма температур летних месяцев, °С / The sum of the temperatures of the summer months, °С	Максимальная температура, °С / Maximum temperature, °С	Сумма осадков, мм / The amount of precipitation, mm		ГТК / HTC
				за вегетационный период / during the growing season	летних месяцев / in the summer months	
2021	3001,4	2345,1	39,1	147,6	34,9	0,29
2022	2936,9	2332,7	40,4	73,6	28,7	0,17
2023	3181,5	2360,3	39,8	196,5	50,4	0,32
Среднее / Average	3039,8	2346,0	39,3	139,2	37,9	0,26

В среднем за годы изучения применение некорневых обработок растений сорта сливы Великая синяя способствовало увеличению количества завязей по сравнению с контролем на 3,3...26,7 %, при максимальной завязываемости плодов в варианте с применением препаратов Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций (табл. 2).

Эксперименты показали, что использование некорневых обработок способствует уменьшению июньского осыпания завязи по сравнению с контрольными показателями. Эффективным способом сохранения завязей на деревьях является использование некорневых подкормок борсодержащими препаратами [8]. Безусловно, использование некорневого питания микроудобрениями Ультрамаг Бор и Ультрамаг Кальций является необходимым агроприемом для регулирования плодоношения сливы сорта Великая синяя.

В период с 22 по 30 августа проводили уборку плодов сливы. В среднем по годам нагрузка урожаем сливы сорта Великая синяя была высокой во всех опытных вариантах – увеличение урожайности относительно контроля составило 3,1...4,2 т/га. Максимальная урожайность (12,9 т/га) получена в варианте с применением препаратов Акварин, Ультрамаг Бор совместно с Ультрамаг Кальций, что на 48,2 % больше показателей контроля. Исследование показало, что при обработке растений комплексом препаратов Ультрамаг Бор и Ультрамаг Кальций, а также при их сочетании с удобрением Акварин средний вес плодов существенно увеличивался по сравнению с показателями контроля – на 4,2 и 5,3 % соответственно (табл. 3).

Известно, что высокие вкусовые и диетические свойства плодов сливы обусловлены, в первую очередь, удачным сочетанием кислот и сахаров. Общепринято, что наилучшим вкусом обладают плоды сливы с наибольшим содержанием сахаров и небольшим количеством кислот, т. е. имеющие высокую величину сахарокислотного индекса, который является важным технологическим показателем [9].

Пищевую и технологическую ценность определяют содержание сухого вещества, минеральных веществ, органических и аминокислот, пектина. В условиях юга России в плодах разных сортов сливы может накапливаться до 20 % сахаров, 10–20 % сухого вещества, 0,4–2,7 % кислот, 0,3–2,1 мг/100 г пектиновых веществ, 15–18 мг/100 г витамина С, свыше 80 мг/100 г Р-активных веществ, около 350 мг/100 г антоцианов [10].

Таблица 2 – Влияние некорневого питания на сохранность завязи у сливы сорта Великая синяя (среднее за 2021–2023 гг.) /
Table 2 – The effect of non-root nutrition on ovary preservation in Velikaya sinaya variety (average for 2021–2023)

Вариант опыта / Variant of the experiment	Кол-во бутонів на модельной ветви до цветения, шт. / Number of buds on the model branch before flowering, pcs.	Кол-во завязи на модельной ветви после цветения, шт. / Number of ovaries on the model branch after flowering, pcs.	Процент завязи после цветения / Percent of ovary after flowering	Кол-во полезной завязи после июньского опадения завязи, шт. / Number of useful ovaries after June ovary fall, pcs.	Процент сохраненной завязи / Percent of preserved ovary	
					от начального числа бутонів / from the initial number of buds	± к контролю / ± to control
Контроль / Control	61	24	39,3	17	27,8	-
Мастер / Master	66	28	42,4	22	33,3	+5,5
Акварин / Aquarin	57	30	52,6	19	33,3	+5,5
Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций / Ultramag Boron + Ultramag Calcium	65	39	70,9	30	54,5	+26,7
Акварин + Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций / Aquarin + Ultramag Boron + Ultramag Calcium	61	27	44,3	19	31,1	+3,3

Таблица 3 – Влияние некорневого питания на массу плодов и урожайность сливы сорта Великая синяя (среднее за 2021–2023 гг.) /

Table 3 – The effect of non-root nutrition on fruit weight and yield of Velikaya sinyaya variety (average for 2021–2023)

Вариант / Variant	Средняя масса плода, г / Average weight of the fruit, g	Продуктивность, кг/дер. / Productivity, kg/tree	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	± к кон- тролю, т/га / ± to control, t/ha
Контроль / Control	43,3	8,7	8,7	-
Мастер / Master	44,3	11,8	11,8	+3,1
Акварин / Aquarin	44,7	11,9	11,9	+3,2
Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций / Ultramag Boron + Ultramag Calcium	45,1	11,8	11,8	+3,1
Акварин + Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций / Aquarin + Ultramag Boron + + Ultramag Calcium	45,6	12,9	12,9	+4,2
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	1,2	0,1	0,1	-

Биохимический состав собранных спелых плодов представлен данными таблицы 4. Уровень сухого растворимого вещества изме-

нялся в зависимости от внесенных удобрений – от 16,8 до 17,0 %. В плодах контрольного варианта этот показатель составил 16,3 %.

Таблица 4 – Действие некорневых подкормок на биохимический состав плодов сливы сорта Великая синяя (среднее 2021–2023 гг.) /

Table 4 – The effect of foliar fertilizing on the biochemical composition of plum fruits of the Velikaya sinyaya variety (average for 2021–2023)

Вариант / Variant	Титруемая кислотность, % / Titrated acidity, %	Сумма сахаров / Sum of sugars		Содержание сухого вещества / Dry matter content		Сахаро- кислотный индекс / Sugar-acid index
		%	± к кон- тролю / ± to control	%	± к кон- тролю / ± to control	
Контроль / Control	0,8	13,2	–	16,3	–	16,5
Мастер / Master	0,8	13,5	+0,3	16,7	+0,4	16,8
Акварин / Aquarin	0,8	13,8	+0,6	16,8	+0,5	17,3
Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций / Ultramag Boron + Ultramag Calcium	0,8	14,2	+1,0	16,8	+0,5	17,7
Акварин + Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций / Aquarin + Ultramag Boron + + Ultramag Calcium	0,8	14,0	+0,8	17,0	+0,7	17,5
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	0,4	-	0,6	-	0,8

В зависимости от обработки изменялось содержание сахаров в плодах сливы от 13,2 до 14,0 %. В ходе исследований было установлено, что содержание суммы сахаров в плодах было выше в варианте с обработкой препаратом Ультрамаг Бор совместно с Ультрамаг Кальций – 14,2 %, в контрольном варианте этот показатель был на уровне 13,2 %.

Согласно полученным данным, наибольший сахарокислотный индекс выявлен при совместном использовании препаратов Ультрамаг Бор и Ультрамаг Кальций – 17,7.

Выводы. В результате применения комплексных удобрений Мастер, Акварин, Ультрамаг Бор, Ультрамаг Кальций на сливе домашней сорта Великая синяя выявлено:

1. При обработке водорастворимыми удобрениями Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций опадение завязи снижалось на 26,7 % по сравнению с контролем.

2. Наибольшая средняя масса плодов получена в вариантах с применением препаратов Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций + Акварин, Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций – 45,1 и 45,6 г соответственно (в контроле – 43,3 г, НСР₀₅ = 1,2 г).

3. Максимальная урожайность отмечена в варианте с применением комплекса удобрений Акварин + Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций – 12,9 т/га, что на 48,2 % больше контроля (8,7 т/га) при НСР₀₅ = 0,1 т/га.

4. По содержанию сухого вещества в плодах сливы выделился вариант с применением Акварин + Ультрамаг Бор + Ультрамаг

Кальций – 17,0 %, в контроле этот показатель составил 16,3 % при НСР₀₅ = 0,6.

Плоды сливы в варианте с обработкой Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций отличались повышенным содержанием сахаров – 14,2 % и значением сахарокислотного индекса – 17,7.

Таким образом, в аридных условиях Северного Прикаспия для увеличения продуктивности и вкусовых качеств плодов сливы сорта Великая синяя рекомендуется использовать некорневые подкормки комплексными удобрениями Акварин (2 л/га), Ультрамаг Бор (1 л/га) и Ультрамаг Кальций (3 л/га) в следующие фазы вегетации: начало цветения – Акварин + Ультрамаг бор, после цветения – Акварин + Ультрамаг Кальций, развитие плодов – Акварин + Ультрамаг Бор + Ультрамаг Кальций.

Список литературы

1. Причко Т. Г., Хилько Л. А., Германова М. Г. Влияние некорневых подкормок на качество ягод земляники. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2016;(40):129–136. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26299965> EDN: WDNOTD
2. Тютюма Н. В., Меншутина Т. В. Перспективы развития интенсивного садоводства в Астраханской области: монография. Волгоград: ООО «Сфера», 2022. 176 с.
3. Леонченко В. Г., Евсеева Р. П., Жбанов Е. В., Черенкова Т. А. Предварительный отбор перспективных генотипов плодовых растений на экологическую устойчивость и биохимическую ценность плодов: методические рекомендации. Мичуринск, 2007. 76 с.
4. Александрова Т. И. Влияние некорневого минерального питания на биометрические показатели сортов сливы домашней в остросушливых условиях Северного Прикаспия. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022;(3):59–63. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-3-58-63> EDN: PCSRFA
5. Зайнутдинов З. З., Дорошенко Т. Н., Рязанова Л. Г. Влияние некорневой подкормки удобрениями нового поколения на урожайность черешни. Аграрная наука – 2022: мат-лы Всеросс. конф. молодых исследователей. М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2020. С. 517–520.
6. Роева Т. А. Минеральное питание как фактор продуктивности и качества плодов вишни, черешни. Современное садоводство. 2018;(2):48–69. DOI: <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10208> EDN: XTFSST
7. Иваненко Е. Н., Дроник А. А. Эффективность применения некорневых подкормок на яблоне в аридных условиях. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(4):95–100. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35017268> EDN: XPARNZ
8. Дорошенко Т. Н., Рязанова Л. Г., Максимцов Д. В. Роль бора в оптимизации плодоношения сливы на юге России. Плодоводство и ягодоводство России. 2015;42:272–277. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23907010> EDN: UDEBZV
9. Гусейнова Б. М., Даудова Т. И. Влияние сортовых особенностей и природных факторов зон выращивания абрикосов на биохимический комплекс плодов. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2018;(3(48)):7–16. DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-48-3-7-16> EDN: YLRFAD
10. Кочубей А. А., Заремук Р. Ш. Комплексная оценка сортов сливы домашней по качеству плодов в условиях южного садоводства. Аграрная наука. 2019;(3):62–65. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-323-3-62-65> EDN: ZYPUBV

References

1. Prichko T. G., Khilko L. A., Germanova M. G. Influence of foliar fertilization on quality of strawberry berries. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii* = Fruit growing and viticulture of South Russia. 2016;(40):129–136. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26299965>
2. Tyutyuma N. V., Menshutina T. V. Prospects for the development of intensive horticulture in the Astrakhan region: monograph. Volgograd: *ООО «Сфера»*, 2022. 176 p.

3. Leonchenko V. G., Evseeva R. P., Zhanov E. V., Cherenkova T. A. Preliminary selection of promising genotypes of fruit plants for environmental sustainability and biochemical value of fruits: methodological recommendations. Michurinsk, 2007. 76 p.

4. Aleksandrova T. I. Influence of foliar mineral nutrition on biometric parameters of home plum varieties in hyperarid conditions of the Northern Caspian region. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2022;(3):59–63. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-3-58-63>

5. Zaynutdinov Z. Z., Doroshenko T. N., Ryazanova L. G. The effect of foliar fertilization with new generation fertilizers on the yield of cherries. Agrarian Science – 2022: Proceedings of the All-Russian Conference of Young Researchers. Moscow: *RGAU – MSKhA imeni K. A. Timiryazeva*, 2020. pp. 517–520.

6. Roeva T. A. Mineral nutrition as a factor of productivity and quality of sour and sweet cherry fruit. *Sovremennoe sadovodstvo* = Contemporary horticulture. 2018;(2):48–69. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10208>

7. Ivanenko E. N., Dronik A. A. The efficacy of foliar feeding on the apple tree in arid conditions. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2018;(4):95–100. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35017268>

8. Doroshenko T. N., Ryazanova L. G., Maksimov D. V. Role of boron in optimization of fruiting of plum on the south of Russia. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* = Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2015;42:272–277. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23907010>

9. Guseinova B. M., Daudova T. I. Impact of variety features and environmental factors of zones where apricots are grown on biochemical complex of apricots. *Vestnik NSAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2018;(3(48)):7–16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-48-3-7-16>

10. Kochubey A. A., Zaremuk R. Sh. Complex evaluation of varieties of plum (*Prunus domestica* L.) for the quality of fruits in the conditions of south gardening. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2019;(3):62–65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-323-3-62-65>

Сведения об авторе

✉ **Александрова Татьяна Ивановна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник отдела плодово-ягодных культур, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», ул. Квартал Северный, д. 8, с. Солёное Займище, Черныярский район, Астраханская область, Российская Федерация, 416251, e-mail: pniaz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9557-6191>, e-mail: t.i.matveeva@mail.ru

Information about the author

✉ **Tatiana I. Alexandrova**, PhD in Agricultural Science, researcher, the Department of Fruit and Berry Crops of the Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 8 Kvartal Severny str., Solenoye Zaymishche village, Chernoyarsk district, Astrakhan Region, Russian Federation, 416251, e-mail: pniaz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9557-6191>, e-mail: t.i.matveeva@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Оптимизация клонального микроразмножения косточковых культур

© 2024. М. Г. Маркова✉, Е. Н. Сомова

ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения
Российской академии наук», г. Ижевск, Российская Федерация

Целью исследований являлась оптимизация клонального микроразмножения косточковых культур за счет использования улучшенных приемов. Объектами исследований на этапе введения в культуру *in vitro* служили меристематические апексы, собственно микроразмножения – микрочеренки, на этапе укоренения – укорененные микрочеренки, на этапе адаптации – микрорастения. Все эксперименты проведены по общепринятым методикам на примере сорта вишни степной Щедрая, сорта сливы домашней Казанская и черешни гибридной Фатеж. В результате исследований установлено: применение 10%-го раствора хлоргексидина для стерилизации исходного растительного материала косточковых культур в среднем увеличивало выживаемость апексов на 2,4 %; совместное использование в последнем пассаже пролиферации регуляторов роста 6-бензиламинопурина 0,5 мг/л, гиббереллиновой кислоты 0,2 мг/л, индол-3-масляной кислоты (ИМК) 0,2 мг/л в питательной среде и экспериментального светодиодного импульсного фитооблучателя активизировало пролиферацию микрочеренков, увеличив коэффициент размножения косточковых культур за 6 пассажей в среднем на 0,9 шт/эксплант; добавление в питательную среду ИМК 1,0 мг/л обеспечивало увеличение укореняемости микрочеренков косточковых культур в среднем на 9,6 %. Обработка микрорастений косточковых культур на этапе адаптации методом опрыскивания 8%-ным раствором экстракта продуктов жизнедеятельности личинок большой восковой моли и использование экспериментального светодиодного импульсного фитооблучателя со смешанным спектром способствовало увеличению их приживаемости в среднем на 12,4 %. Соблюдение предложенных улучшенных приемов клонального микроразмножения косточковых культур с использованием регуляторов роста и экспериментального светодиодного импульсного фитооблучателя со смешанным спектром позволило увеличить выход стандартных адаптированных микрорастений в два раза. При этом себестоимость одного адаптированного микрорастения уменьшилась в среднем на 11,4 руб., а рентабельность получения оздоровленного материала косточковых культур увеличилась на 33,7 % и составила 160,7 %.

Ключевые слова: культура *in vitro*, регуляторы роста, импульсный фитооблучатель, вишня, слива, черешня

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № FUUE-2022-0001).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Маркова М. Г., Сомова Е. Н. Оптимизация клонального микроразмножения косточковых культур. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):189–197. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.189-197>

Поступила: 12.02.2024

Принята к публикации: 01.04.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

Optimization of clonal micropropagation of stone fruit crops

© 2024. Marina G. Markova✉, Elena N. Somova

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

The aim of the research was to optimize the clonal micropropagation of stone crops through the use of improved techniques. The objects of the research at the stage of introduction into culture *in vitro* were meristematic apices, at the stage of micro-propagation itself – micro-shoots, at the rooting stage – rooted micro-shoots, at the adaptation stage – micro-plants. All experiments were carried out according to generally accepted methods using the example of the steppe cherry variety Shchedraya, the domestic plum variety Kazanskaya and the hybrid sweet cherry Fatezh. As a result of the research, it was found that the use of a 10 % chlorhexidine solution for sterilization of the initial plant material of stone crops increased the survival rate of apices on average by 2.4 %; the combined use of growth regulators 6-benzylaminopurine 0.5 mg/l, gibberellic acid 0.2 mg/l, indo-lil-3-butyric acid (IBA) 0.2 mg/l in a nutrient medium and an experimental diode pulsed phytoirradiator in the last proliferation passage activated the proliferation of micro-shoots, increasing the reproduction coefficient of stone crops in 6 passages by an average of 0.9 pcs/explant; the addition of 1.0 mg/l (IBA) to the nutrient medium provided an increase in the rooting capacity of micro-shoots of stone crops by an average of 9.6 %. The treatment of micro-plants of stone crops at the stage of adaptation by spraying with an 8 % solution of the extract of the products of the larvae of the large wax moth and the use of an experimental LED pulsed phytoirradiator with a mixed spectrum contributed to an increase in their survival rate by an average of 12.4 %. Compliance with the proposed improved methods of clonal micropropagation of stone crops using growth regulators and an experimental LED pulse phytoirradiator with a mixed spectrum made it possible to increase the yield of standard adapted micro-plants by 2 times. At the same time, the cost of one adapted micro-plant decreased by an average of 11.4 rubles, and the profitability of obtaining improved stone crop material increased by 33.7 % and amounted to 160.7 %.

Keywords: *in vitro* culture, growth regulators, pulsed phytoirradiator, cherry, plum, sweet cherry

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme № FUUE-2022-0001).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review this work.

Conflict of interest: the authors stated that there is no conflict of interest.

For citation: Markova M. G., Somova E. N. Optimization of clonal micropropagation of stone fruit crops. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):189–197. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.189-197>

Received: 12.02.2024

Accepted for publication: 01.04.2024

Published online: 24.04.2024

В условиях Среднего Предуралья такие косточковые культуры, как вишня степная, слива домашняя и черешня гибридная пользуются большим спросом у населения. Их плоды ценятся за высокое содержание пектиновых веществ, которые являются антирадиантами, за богатый минеральный состав, наличие большого количества биологически активных веществ и витаминов. Использование новых пластичных и устойчивых к болезням сортов косточковых культур, в том числе вишни, сливы и черешни, позволит существенно увеличить экологическую устойчивость садоводства [1]. Обеспечение населения региона посадочным материалом этих культур в настоящее время остается актуальным. В данных почвенно-климатических условиях неплохо адаптировались сорт вишни степной Щедрая, выведенный в Свердловской селекционной станции садоводства, сорт сливы домашней Казанская селекции Татарского НИИСХ и сорт черешни гибридной Фатеж селекции Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства.

Одним из вегетативных способов размножения косточковых культур является клональное микроразмножение, которое включает в себя введение меристем в культуру *in vitro* с предварительной стерилизацией апексов, собственно микроразмножение и ризогенез микропобегов на гормональных средах, адаптацию мериклонов к условиям *in vivo* [2, 3]. Применение методов клонального микроразмножения помогает расширить ассортимент новых и упрощает получение трудноразмножаемых сортов. Наибольшее влияние на коэффициент размножения косточковых культур оказывает взаимодействие минеральной основы питательной среды и концентрации регуляторов роста [4]. По мнению ряда авторов, культивирование *in vitro* косточковых культур успешнее проходит на таких питательных средах, как Мурасиге-Скуга и Кворина-Лепорье [5, 6]. Важную роль играют также различные регуляторы роста цитокининовой и ауксиновой

природы. Выявлено, что микрочеренки обладают более высокой регенерационной способностью при одновременном использовании в питательных средах цитокинина и ауксина в сравнении с применением лишь одного цитокинина. Регулирующее действие гиббереллина на рост растений осуществляется также в тесной взаимосвязи с ауксином. Успех укоренения микрочеренков растений зависит от правильно подобранной концентрации ауксина [7, 8].

Успешное прохождение микрорастениями адаптации обеспечивает применение в качестве регулятора роста экстракта продуктов жизнедеятельности личинок большой восковой моли (ПЖЛВМ), который обладает иммуноиндуцирующими и протекторными свойствами, функционирует как биогумус. ПЖЛВМ представляют собой рассыпчатое вещество коричневого цвета с размером частиц от 0,1 до 3,0 мм и приятным запахом пчелопродуктов. Экстракт ПЖЛВМ содержит значительное количество калия, фосфатов, магния, цинка и железа, а также микроэлементы – медь, марганец, селен, хром, молибден, кобальт, следы кремния, ванадия и серебра. Обработка методом опрыскивания укорененных микрочеренков раствором экстракта ПЖЛВМ увеличивала выход адаптированных микрорастений [9].

При искусственном выращивании растений в замкнутых агроэкосистемах, в том числе в условиях *in vitro*, внимание исследователей привлекают импульсные режимы освещения, позволяющие не только стимулировать рост и развитие микрорастений, но и экономить до 65 % электроэнергии [10]. Существуют данные, что свет, направляемый на растения в коротких интенсивных импульсах, обеспечивает более высокую квантовую эффективность фотосистемы по сравнению с непрерывным светом. Однако практическая проверка импульсных облучателей в растениеводстве показала, что они могут оказывать как стимулирующее, так и угнетающее действие [11].

Цель исследований – сравнить традиционные и улучшенные приемы клонального микроразмножения косточковых культур.

Научная новизна. В условиях Удмуртской Республики практический интерес представляет изучение избирательной реакции микрорастений косточковых культур (вишня, слива, черешня) на различный минеральный состав питательных сред и регуляторы роста при оптимальном режиме освещения в условиях *in vitro*, *ex vitro*.

Материал и методы. Обобщены результаты исследований, проведенных в 2020–2023 гг. на примере вишни сорта Щедрая, сливы Казанская и черешни Фатеж. Эксперименты выполнены в соответствии с методическими указаниями¹ и ГОСТ Р 54051-2010².

Введение в культуру ткани наиболее эффективно в период активного роста косточковых культур, поэтому осуществлялось в конце мая – начале июня [12]. Все стерильные работы проведены в ламинар-боксе, культивирование – в светоконфлюэнтной лаборатории Удмуртского федерального исследовательского центра УрО РАН. Объекты исследований: на этапе инициации эксплантов – меристематические апексы в количестве 30 шт. по каждой культуре, на этапе собственно микроразмножения (полифериции) – микрочеренки, на этапе укоренения – укорененные микрочеренки, на этапе адаптации – микрорастения. На этапе введения в стерильную культуру применяли питательную среду Мурасиге-Скуга ($1/2$ MS) с половинной дозой макро- и микроэлементов и добавлением цитокинина 6-бензиламинопурина (6-БАП) в дозе 0,2 мг/л.

Для стерилизации эксплантов оценивали эффективность 33%-го раствора пергидроли и 10%-го раствора хлоргексидина в экспозиции 6–8 минут.

С первого по пятый пассаж микроразмножения использовали питательную среду Кворина-Лепорье (QL), обеспечивающую максимальный коэффициент размножения у всех косточковых культур в предыдущих экспериментах [13]. В последнем пассаже пролифериции в данную питательную среду добавлено сочетание регуляторов роста 6-бензиламино-

пурина (6-БАП), гиббереллиновой кислоты (ГК), индолил-3-масляной кислоты (ИМК) с целью увеличения выхода пригодных для укоренения микрочеренков и их укореняемости в следующем этапе (табл. 1). На этапе укоренения использована также питательная среда Кворина-Лепорье с концентрацией ИМК 1 мг/л. На этапе адаптации методом опрыскивания микрорастения один раз в сутки обрабатывали 8%-ным водным раствором экстракта ПЖЛВМ. Данная концентрация продуктов жизнедеятельности личинок большой восковой моли была самой эффективной при обработке методом опрыскивания микрорастений в предыдущих исследованиях, где, в том числе, применяли растворы 4%, 6% и 10%-ной концентрации [14]. Адаптация проведена в минипарниках и имела продолжительность 21 сутки. Субстратом служил торф низовой (рН = 6,5–7,0) производства АО «Удмуртторф» (Удмуртская Республика, Россия).

Для освещения применяли светодиодные фитооблучатели непрерывного режима освещения с тепло-белой световой температурой облучения (контроль) и экспериментальный импульсный со смешанным спектром облучения, разработанный на кафедре автоматизированного электропривода Удмуртского ГАУ специально для косточковых культур с учетом генетической памяти данных растений. Светодиодный импульсный фитооблучатель состоит из 16 последовательно соединенных красных, зеленых и синих светодиодов. Основной узел схемы – программируемый микроконтроллер. Кварцевый генератор импульсов обеспечивает длительность импульса излучения – 0,5 с, темновой паузы – 1 с, импульсного облучения – 30 с, непрерывного облучения – 15 с [15].

Растительный материал культивировали при освещенности 75–85 мМоль/м²*сек⁻¹, 6500 К, температуре 22...25 °С, относительной влажности воздуха 70–75 % и 16-часовом фотопериоде. Культуральным сосудом служила пробирка биологическая П2-21-200. Ростовые параметры микрорастений измеряли линейкой, статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа³.

¹Технология получения оздоровленного от вирусов посадочного материала плодовых и ягодных культур: методические указания. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. 92 с.

²ГОСТ Р 54051-2010. Плодовые и ягодные культуры. Стерильные культуры и адаптированные микрорастения. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 12 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084133>

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 352 с.

*Таблица 1 – Традиционные и улучшенные приемы клонального микроразмножения косточковых культур /
Table 1 – Traditional and improved techniques for clonal micropropagation of stone fruit crops*

Этапы клонального микроразмножения / Stages of clonal micropropagation	Приемы / Techniques	
	традиционные / traditional	улучшенные / improved
Введение в культуру <i>in vitro</i> / Introduction to <i>in vitro</i> culture	Стерилизация эксплантов 33%-ным пергидролем / Sterilization of explants with 33% perhydrol	Стерилизация эксплантов 10%-ным хлоргексидином / Sterilization of explants with 10% chlorhexidine
Собственно микроразмножение / Micropropagation itself	QL + 6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л, светодиодный фитооблучатель в непрерывном режиме / QL + 6-BAP 0.5 mg/l + GA 0.2 mg/l, LED phytoirradiator in continuous mode	QL + 6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л + ИМК 0,2 мг/л, светодиодный фитооблучатель в импульсном режиме / QL + 6-BAP 0.5 mg/l + GA 0.2 mg/l + IBA 0.2 mg/l, LED phytoirradiator in pulse mode
Укоренение / Rooting	QL + ИМК 0,5 мг/л, светодиодный фитооблучатель в непрерывном режиме / QL + IBA 0.5 mg/l, LED phytoirradiator in continuous mode	QL + ИМК 1,0 мг/л, светодиодный фитооблучатель в непрерывном режиме / QL + IBA 1.0 mg/l, LED phytoirradiator in continuous mode
Адаптация / Adaptation	Опрыскивание дистиллированной водой при освещении светодиодным фитооблучателем в непрерывном режиме / Spraying with distilled water under illumination with LED phytoirradiator in continuous mode	Опрыскивание 8%-ным раствором ПЖЛВМ при освещении экспериментальным светодиодным фитооблучателем в импульсном режиме / Spraying with an 8% solution of waste products of large wax moth larvae under illumination with an experimental LED phytoirradiator in pulsed mode

Условные обозначения: QL – питательная среда Кворина-Лепорье; 6-БАП – 6-бензиламинопурин; ГК – гиббереллиновая кислота; ИМК – индол-3-масляная кислота; ПЖЛВМ – продукт жизнедеятельности личинок большой восковой моли /

Legend: QL – nutrient medium Quarina-Leporie; 6-BAP – 6-benzylaminopurine; GA – gibberellic acid; IBA – indolyl-3-butyric acid

Результаты и их обсуждение. На этапе инициации эксплантов исследована возможность получения стерильной культуры вишни, сливы и черешни в условиях *in vitro*. Задачами на данном этапе являлись освобождение от грибной и бактериальной инфекций, подавление фенольного окисления апексов в питательной среде и получение максимального количества здоровых эксплантов.

В сравнительном изучении стерилизация апексов 10%-ным хлоргексидином привела к увеличению выхода жизнеспособных эксплантов черешни на 8,3 %, у вишни и сливы выход эксплантов получен на уровне контрольного (табл. 2). В среднем по культурам с применением 10%-го хлоргексидина выход жизнеспособных эксплантов вырос на 2,4 % при НСР₀₅ = 3,0 %. Необходимо учитывать, что для получения 33%-го пергидроля требуется официальный запрос и договор, тогда как 10%-ный хлоргексидин находится в свободном доступе в сети «Госаптека». Поэтому, наряду с использованием для стерилизации растительного материала 33%-го пергидроля, можно эффективно применять 10%-й хлоргексидин.

Обеспечение быстрого размножения эксплантов в течение культивирования в нескольких пассажах достигается снятием апикального

доминирования при добавлении в питательную среду оптимальной концентрации цитокинина и правильным подбором питательной среды. Исследованиями, проведенными ранее [16], установлено, что оптимальной питательной средой для культивирования всех косточковых культур являлась среда Кворина-Лепорье в сравнении с Мурасиге-Скуга, Вуди Планта Медиум и Гамборга. Также выявлено, что совместное использование в последнем пассаже пролиферации 6-БАП в концентрации 0,5 мг/л, ГК – 0,2 мг/л, ИМК – 0,2 мг/л приводило к увеличению выхода пригодных для укоренения микрочеренков. На этапе пролиферации отмечалось положительное влияние на коэффициент размножения экспериментального светодиодного фитооблучателя со смешанным спектром, работающего в импульсном режиме.

В последнем пассаже пролиферации в варианте с улучшенным приемом культивирования (6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л + ИМК 0,2 мг/л) отмечено увеличение коэффициента размножения на 1,6 шт/эксплант у сливы и на 1,2 шт/эксплант у черешни, у вишни он составил на уровне контрольного. В среднем по культурам коэффициент размножения увеличился существенно – на 0,9 при НСР₀₅ = 0,7 шт/эксплант.

Таблица 2 – Влияние изучаемых приемов на показатели микроразмножения косточковых культур *in vitro* и приживаемость в условиях *in vivo* /

Table 2 – The effect of the studied techniques on the indicators of micro-reproduction of stone crops *in vitro* and survival *in vivo*

Этап / Stage	Показатель, приемы / Indicator, techniques	Вишня / Cherry	Слива / Plum	Черешня / Sweet cherry	Среднее / Average
Введение в культуру / Introduction to culture	Выход жизнеспособных эксплантов, %; стерилизация 33%-ным пергидролем / Yield of viable explants, %; sterilization of explants with 33% perhydrol	50,0	54,5	50,0	51,5
	Выход жизнеспособных эксплантов, %; стерилизация 10%-ным хлоргексидином / Yield of viable explants, %; sterilization of explants with 10% chlorhexidine	50,0	53,4	58,3	53,9
	HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	3,0
Проплиферация / Proliferation	Коэффициент размножения, шт/эксплант (пригодных для укоренения микрочеренков); QL + 6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л, светодиодный фитооблучатель в непрерывном режиме / Reproduction coefficient, pcs/explant (shoots suited for rooting); QL + 6-BAP 0.5 mg/l + GA 0.2 mg/l, LED phytoirradiator in continuous mode	2,8	2,7	3,5	3,0
	Коэффициент размножения, шт/эксплант (пригодных для укоренения микрочеренков); QL + 6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л + ИМК 0,2 мг/л, светодиодный фитооблучатель в импульсном режиме / Reproduction coefficient, pcs/explant (shoots suited for rooting); QL + 6-BAP 0.5 mg/l + GA 0.2 mg/l + IBA 0.2 mg/l, LED phytoirradiator in pulse mode	2,7	4,3	4,7	3,9
	HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	0,7
Укоренение / Rooting	Укореняемость, %; QL + ИМК 0,5 мг/л, светодиодный фитооблучатель в непрерывном режиме / Rooting rate, %; QL + IBA 0.5 mg/l, LED phytoirradiator in continuous mode	50,2	54,7	69,7	58,2
	Укореняемость, %; QL + ИМК 1,0 мг/л, светодиодный фитооблучатель в непрерывном режиме / Rooting rate, %; QL + IBA 1.0 mg/l, LED phytoirradiator in continuous mode	59,8	63,8	79,8	67,8
	HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	5,9
Адаптация / Adaptation	Приживаемость в условиях <i>in vivo</i> , %; обработка методом опрыскивания дистиллированной водой при освещении светодиодным фитооблучателем в непрерывном режиме / Survival rate to <i>in vivo</i> conditions, %; treatment by spraying with distilled water under illumination with LED phytoirradiator in continuous mode	68,4	75,4	73,1	72,3
	Приживаемость в условиях <i>in vivo</i> , %; обработка методом опрыскивания 8%-ным раствором ПЖЛВМ при освещении экспериментальным светодиодным фитооблучателем в импульсном режиме / Survival rate to <i>in vivo</i> conditions, %; treatment by spraying with an 8% solution of waste products of wax moth larvae under illumination with an experimental LED phytoirradiator in pulsed mode	78,3	87,5	88,3	84,7
	HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	10,1

На этапе укоренения микрочеренков косточковых культур в сравнительном изучении выявлено увеличение их укореняемости в варианте с использованием улучшенного приема – при культивировании с ИМК в концентрации 1,0 мг/л укореняемость вишни выросла на 9,6 %, сливы – на 9,1 %, черешни – на 10,1 %. В среднем по культурам укореняемость микрочеренков увеличилась на 9,6 % при HCP = 5,9 % и соста-

вила 67,8 %. Добавление в питательную среду ИМК 1 мг/л стимулировало также увеличение показателей качества укорененных микрочеренков: все показатели превышали технические требования, предусмотренные ГОСТ Р 54051-2010⁴. Импульсный режим облучения, в сравнении с непрерывным, не оказывал влияния на укореняемость и показатели качества укорененных микрочеренков в предыдущих исследованиях,

⁴ГОСТ Р 54051-2010. Плодовые и ягодные культуры. Стерильные культуры и адаптированные микрорастения. М.: Стандартинформ, 2011. 15 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/42d/4293802592.pdf>

поэтому на данном этапе не включен для его оптимизации.

На этапе адаптации прием обработки методом опрыскивания 8%-ным раствором экстракта личинок большой восковой моли и использование импульсного экспериментального светодиодного фитооблучателя со смешанным спектром привело к увеличению приживаемости микрорастений вишни на 9,9 %, сливы – на 12,1 %, черешни – на 15,2 %. В среднем приживаемость косточковых культур увеличилась на 12,4 % при НСР₀₅ = 10,1 % и составила 84,7 %. К концу этапа микрорастения достигали высоты 9,0 см, что превышало показатель по ГОСТ Р 54051-2010⁵ (не менее 5 см).

Совместное использование в клональном микроразмножении косточковых культур новых приемов, таких как подбор минерального состава питательной среды с оптимальной концентрацией регуляторов роста в последнем пассаже пролиферации и на этапе укоренения, применение водного раствора ПЖЛВМ в нужной концентрации при адаптации микрорастений, освещение экспериментальным светодиодным импульсным фитооблучателем со смешанным спектром на этапах пролиферации и адаптации, оказывало положительное влияние на выход пригодных для укоренения микрочеренков, укореняемость микрочеренков и приживаемость микрорастений.

Таблица 3 – Сравнительная оценка клонального микроразмножения косточковых культур по традиционной и улучшенной методикам /

Table 3 – Comparative assessment of clonal micropropagation of stone crops using traditional and improved techniques

Этапы микроразмножения / Stages of micropropagation		Показатель / Indicator	Методика / Technique	
			традиционная traditional	улучшенная improved
Введение в стерильную культуру (10-14 суток) / Introduction to sterile culture (10-14 days)		Высажено, шт. / Planted, pcs.	30	30
		Выживаемость, % / Survival rate, %	51,5	53,9
Проплиферация / Proliferation пролиферация	1 пассаж (30 суток) / 1 passage (30 days)	Высажено, шт. / Planted, pcs	15	16
		Приживаемость, % / Survival rate, %	53,3	53,3
		Коэффициент размножения / Reproduction rate	2,0	2,0
	2 пассаж (30 суток) / 2 passage (30 days)	Высажено, шт. / Planted, pcs.	16	17
		Приживаемость, % / Survival rate, %	61,8	61,8
		Коэффициент размножения / Reproduction rate	3,0	3,0
	3 пассаж (30 суток) / 3 passage (30 days)	Высажено, шт. / Planted, pcs.	30	32
		Приживаемость, %/ Survival rate, %	72,6	72,6
		Коэффициент размножения / Reproduction rate	3,2	3,2
	4 пассаж (30 суток) / 4 passage (30 days)	Высажено, шт. / Planted, pcs.	70	74
		Приживаемость, % / Survival rate, %	78,7	78,7
		Коэффициент размножения / Reproduction rate	3,8	3,8
	5 пассаж (30 суток) / 5 passage (30 days)	Высажено, шт. / Planted, pcs.	209	221
		Приживаемость, % / Survival rate, %	73,3	73,3
		Коэффициент размножения / Reproduction rate	5,4	5,4
	6 пассаж (30 суток) / 6 passage (30 days)	Высажено, шт. / Planted, pcs.	826	875
		Приживаемость, % / Survival rate, %	86,6	86,6
		Коэффициент размножения / Reproduction rate	3,0	3,9
Укоренение (30-60 суток) / Rooting (30-60 days)		Высажено, шт. / Planted, pcs.	2145	2955
		Выживаемость, % / Survival rate, %	82,0	88,0
		Укореняемость, % / Rooting rate, %	58,2	67,7
		Выход кондиционных микрорастений, шт. / Yield of standard microplants, pcs.	1023	1760
Адаптация (21 сутки) / Adaptation (21 days)		Высажено, шт. / Planted, pcs.	1023	1760
		Приживаемость, % / Survival rate, %	72,3	84,7
		Выход адаптированных микрорастений, шт. / Output of adapted plants, pcs	740	1490

⁵ГОСТ Р 54051-2010. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/42d/4293802592.pdf>

Культивирование косточковых культур *in vitro* с использованием на каждом этапе улучшенных приемов, в сравнении с традиционными, проходило значительно эффективнее и послужило основой для разработки новой методики клонального микроразмножения данных культур.

Соблюдение предложенной улучшенной методики клонального микроразмножения косточковых культур, состоящей из четырех этапов, позволило увеличить выход стандартных адаптированных микрорастений в 2 раза (табл. 3).

При расчете себестоимости одного адаптированного микрорастения, как конечного продукта клонального микроразмножения, культивирование по улучшенной методике получается менее затратным на 11,4 руб., чем по традиционной (табл. 4).

С учетом расчетной себестоимости, условно чистого дохода и рыночной стоимости одного адаптированного микрорастения 200 руб., рентабельность получения оздоровленного материала косточковых культур по улучшенной методике клонального микроразмножения составила 160,7 %, что на 33,7 % выше, чем по традиционной (табл. 5).

Таблица 4 – Расчет себестоимости 100 шт. микрорастений косточковых культур при культивировании *in vitro*, руб. /

Table 4 – Cost calculation for 100 pcs. of microplants of stone fruit crops during *in vitro* cultivation, rubles

Вид затрат / Type of costs	Методика / Technique	
	традиционная traditional	улучшенная improved
Зарплата сотрудников с начислениями / Employee salaries with accruals	5224,2	4336,0
Стоимость исходного растительного материала / Cost of initial plant material	350,0	350,0
Оплата электроэнергии / Payment for electricity	510	480
Оплата водоснабжения / Payment for water supply	12	12
Стоимость спирта / The cost of alcohol	144	144
Стоимость питательной среды с регуляторами роста / Cost of nutrient medium with growth regulators	111,4	139,2
Стоимость малоценного инвентаря (10%-ный хлоргексидин, вата, минипарники и др.) / Cost of low-value equipment (10% chlorhexidine, cotton wool, mini-greenhouses, etc.)	220	230
Стоимость торфяного субстрата 15 л / The cost of peat substrate is 15 liters	128,3	128,3
Амортизационные отчисления / Depreciation deductions	80	80
Итого прямые затраты / Total direct costs	6779,6	5899,5
Накладные расходы (30 %) / Overheads (30 %)	2033,9	1769,8
Всего затрат / Total costs	8813,5	7669,3
Себестоимость одного адаптированного растения / Cost of one adapted plant	88,1	76,7

Таблица 5 – Эффективность получения адаптированных растений косточковых культур по традиционной и улучшенной методикам

Table 5 – Efficiency of obtaining adapted stone fruit plants using traditional and improved techniques

Методика / Techniques	Выход стандартных растений, шт. / Output of standard plants, pcs.	Себестоимость 1 растения, руб. / Cost of 1 plant, rubles	Условно чистый доход с 1 растения, руб. / Conditionally net income from 1 plant, rubles	Уровень рентабельности, % / Profitability level, %
Традиционная / Traditional	740	88,1	111,9	127,0
Улучшенная / Improved	1490	76,7	123,3	160,7

Закключение. Клональное микроразмножение косточковых культур по улучшенной методике позволило увеличить выход стандартных адаптированных микрорастений в два раза за счет:

- оптимизации минерального состава питательной среды и концентрации регуляторов роста в последнем пассаже пролиферации (Кворина-Лепорье + 6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л + ИМК 0,2 мг/л);

- правильно подобранной концентрации индуктора ризогенеза на этапе укоренения (Кворина-Лепорье + ИМК 1,0 мг/л);

- обработки методом опрыскивания раствором экстракта продуктов жизнедеятельности личинок большой восковой моли в оптимальной

концентрации (8%-ной) при адаптации микрорастений;

- использования экспериментального светодиодного импульсного фитооблучателя со смешанным спектром, который способствовал увеличению выхода пригодных для укоренения микрочеренков и приживаемости микрорастений, а также экономии электроэнергии на этапах пролиферации и адаптации.

Себестоимость одного адаптированного микрорастения косточковых культур, полученного по улучшенной методике культивирования, уменьшилась в среднем на 11,4 руб., рентабельность получения оздоровленного материала увеличилась на 33,7 % и составила 160,7 %.

Список литературы

1. Васильев А. А., Гасымов Ф. М., Галимов В. Р. Адаптивный потенциал вишни в Челябинской области. Плодоводство и виноградарство юга России. 2021;(67(1)):44–54. DOI: <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-1-67-44-54> EDN: EWFPUA
2. Супрун И. И., Винтер М. А., Лободина Е. В., Аль-Накиб Е. А., Авакимян А. О., Федорович С. В. Ключевые вопросы биотехнологии в размножении и оздоровлении садовых культур. Плодоводство и виноградарство юга России. 2021;(71(5)):96–115. DOI: <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-5-71-96-115> EDN: RKJBTC
3. Isroilova Sh. Ja. *In vitro* microclonal multiplication of fruit cultures. Theoretical & Applied Science. 2019;(5(73)):531–535. DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.05.73.81>
4. Молканова О. И., Мелешук Е. А., Ахметова Л. Р. Изучение морфогенетического потенциала некоторых представителей рода *Cerasus* (mill.) в культуре *in vitro*. Тенденции развития науки и образования. 2019;(56-13): 90–94. DOI: <https://doi.org/10.18411/lj-11-2019-294> EDN: IFDSNB
5. Авакимян А. О. Питательные среды и их модификации, используемые для клонального микроразмножения вишни и черешни. Достижения науки и образования. 2023;(4(91)):10–18. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54944735> EDN: ISTYDE
6. Ташматова Л. В., Ряго Н. В., Мельяновская А. Ю. Влияние питательных сред с различным гормональным составом на интенсивность размножения сортов вишни в культуре *in vitro*. Субтропическое и декоративное садоводство. 2021;(78):76–82. DOI: <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2021-78-76-82> EDN: UCRQIM
7. Aremu A. O., Amoo S. O., Fawole O. A., Buthlezi N. M., Makunga N. P., Masondo N. A., Moyo M. Applications of cytokinins in horticultural fruit crops: Trends and future prospects. Biomolecules. 2020;10(9):1–71. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom10091222>
8. Макаров С. С., Кузнецова И. Б., Сунгурова Н. Р., Кульничий А. Н., Чудецкий А. И., Ахметова Л. Р., Акимова С. В. Клональное микроразмножение вишни обыкновенной (*Prunus cerasus* L.) сорта Шоколадница с использованием ростостимулирующих веществ. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023;(6(104)):86–92. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-104-6-86-92> EDN: THEMRI
9. Осокина А. С., Колбина Л. М., Гущин А. В. Биологические основы разведения большой восковой моли (*Galleria melonella* L.) как источника биологически активных веществ: монография. Ижевск: Изд-во Анны Зелениной, 2019. 166 с.
10. Баранова И. А., Кондратьева Н. П., Батулин А. И., Батурина К. А. Сравнение влияния различных режимов облучения на увеличение площади листьев меристемных растений статистическими методами. Вестник НГИЭИ. 2022;(5(132)):55–64. DOI: <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-5-55-64> EDN: BEEQBR
11. Зеленков В. Н., Латушкин В. В., Иванова М. И., Лапин А. А., Карпачев В. В., Кособрюхов А. А., Верник П. А., Гаврилов С. В. Влияние импульсного освещения на прорастание семян некоторых овощных, масличных и лекарственных растений. Фотоника. 2020;14(5):442–461 DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-7296.FRos.2020.14.5.442.460> EDN: FBFLFC
12. Шахов В. В., Федотова И. Э., Ташматова Л. В., Мацнева О. В., Хромова Т. М. Влияние сезонного фактора на приживаемость эксплантов вишни обыкновенной в культуре *in vitro*. Международный научно-исследовательский журнал. 2020;(11–1):159–166. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.027> EDN: WSGZTO
13. Маркова М. Г., Сомова Е. Н. Регенерационная способность *Cerasus fruticosa* и *Prunus domestica* в культуре *in vitro*. Аграрный вестник Урала. 2021;(6(209)):43–52. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-43-52> EDN: CKENBE
14. Маркова М. Г., Сомова Е. Н. Использование продуктов жизнедеятельности личинок большой восковой моли в клональном микроразмножении земляники садовой. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020;(4):66–68. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/4/66-68> EDN: PHNLBZ
15. Kondratieva N., Bolschin R., Krasnolutskaia M. Baturin A., Baturina K., Dukhtanova N., Kirillin N., Ovchucova S., Zaitsev P., Somova E., Markova M. Effect of irradiation on the growth and rooting of a climbing rose *in vitro*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;935:012007. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/935/1/012007>
16. Markova M. G., Somova E. N. Clonal micro-propagation of berry crops: monograph. Izhevsk: izd-vo «Alkid», 2020. 102 p.

References

1. Vasilyev A. A., Gasyimov F. M., Galimov V. R. Adaptive potential of cherry in the Chelyabinsk region. *Plodovodstvo i vinogradarstvo yuga Rossii* = Fruit growing and viticulture of South Russia. 2021;(67(1)):44–54. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-1-67-44-54>
2. Suprun I. I., Vinter M. A., Lobodina E. V., Al-Nakib E. A., Avakimyan A. O., Fedorovich S. V. Key issues of biotechnology in reproduction and improvement of horticultural crops. *Plodovodstvo i vinogradarstvo yuga Rossii* = Fruit growing and viticulture of South Russia. 2021;(71(5)):96–115. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-5-71-96-115>
3. Isroilova Sh. Ja. In vitro microclonal multiplication of fruit cultures. *Theoretical & Applied Science*. 2019;(5(73)):531–535. DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.05.73.81>
4. Molkanova O. I., Meleshchuk E. A., Akhmetova L. R. Study of the morphogenetic potential of some representatives of the genus *Cerasus* (mill.) in *in vitro* culture. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2019;(56-13): 90–94. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18411/lj-11-2019-294>
5. Avakimyan A. O. Nutrient media and their modifications used for clonal micropropagation of cherries and sweet cherries. *Dostizheniya nauki i obrazovaniya*. 2023;(4(91)):10–18. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54944735>
6. Tashmatova L. V., Ryago N. V., Melyanovskaya A. Yu. The effect of nutrient medias with different hormonal composition on the intensity of propagation of cherry cultivars *in vitro*. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo* = Subtropical and ornamental horticulture. 2021;(78):76–82. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2021-78-76-82>
7. Aremu A. O., Amoo S. O., Fawole O. A., Buthelezi N. M., Makunga N. P., Masondo N. A., Moyo M. Applications of cytokinins in horticultural fruit crops: Trends and future prospects. *Biomolecules*. 2020;10(9):1–71. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom10091222>
8. Makarov S. S., Kuznetsova I. B., Sungurova N. R., Kulchitskiy A. N., Chudetskiy A. I., Akhmetova L. R., Akimova S. V. Clonal micropropagation of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) of shokoladnitsa cultivar using growth stimulants. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2023;(6(104)):86–92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-104-6-86-92>
9. Osokina A. S., Kolbina L. M., Gushchin A. V. Biological bases of breeding the large wax moth (*Galleria mellonella* L.) as a source of biologically active substances: A monograph. Izhevsk: *Izd-vo Anny Zeleninoy*, 2019. 166 p.
10. Baranova I. A., Kondrateva N. P., Baturin A. I., Baturina K. A. Comparison of the effect of different irradiation modes on the increase in the leaf area of meristem plants by statistical methods. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGIEI. 2022;(5(132)):55–64. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-5-55-64>
11. Zelenkov V. N., Latushkin V. V., Ivanova M. I., Lapin A. A., Karpachev V. V., Kosobryukhov A. A., Vernik P. A., Gavrilov S. V. Effect of pulsed illumination on the germination of seeds of some vegetable, oil-bearing and medicinal plants. *Fotonika* = Photonics Russia. 2020;14(5):442–461 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-7296.FRos.2020.14.5.442.460>
12. Shakhov V. V., Fedotova I. E., Tashmatova L. V., Matsneva O. V., Khromova T. M. Effects of the seasonal factor on the survival rate of cherry explants in *in vitro* culture. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal. 2020;(11–1):159–166. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.027>
13. Markova M. G., Somova E. N. Regeneration capacity of cerasus fruticose and prunus domestica into the *in vitro* culture. *Agrarnyy Vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2021;(6(209)):43–52. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-43-52>
14. Markova M. G., Somova E. N. Using of large wax moth larvae products excreted in clonal microreproduction of garden strawberry. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2020;(4):66–68. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/4/66-68>
15. Kondrateva N., Bolschin R., Krasnolutsckaya M. Baturin A., Baturina K., Dukhtanova N., Kirillin N., Ovchucova S., Zaitsev P., Somova E., Markova M. Effect of irradiation on the growth and rooting of a climbing rose *in vitro*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;935:012007. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/935/1/012007>
16. Markova M. G., Somova E. N. Clonal micro-propagation of berry crops: monograph. Izhevsk: *izd-vo «Alkid»*, 2020. 102 p.

Сведения об авторах

✉ **Маркова Марина Геннадьевна**, научный сотрудник, Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – структурное подразделение ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина 1, с. Первомайский, Завьяловского района, Российская Федерация, 427007, e-mail: ugniish@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9427-6766>, e-mail: markovamg@udman.ru

Сомова Елена Николаевна, старший научный сотрудник, Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – структурное подразделение ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина 1, с. Первомайский, Завьяловского района, Российская Федерация, 427007, e-mail: ugniish@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7917-8738>

Information about the authors

✉ **Marina G. Markova**, researcher, Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture – structural subdivision of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lenin st., 1, v. Pervomaisky, Zaviyalovsky district, Russian Federation, 427007, e-mail: ugniish@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9427-6766>, e-mail: markovamg@udman.ru

Elena N. Somova, senior researcher, Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture – structural subdivision of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lenin st., 1, v. Pervomaisky, Zaviyalovsky district, Russian Federation, 427007, e-mail: ugniish@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7917-8738>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ/PLANT PROTECTION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.198–206>
УДК 633.367:632.4:632.934



Перспективный фунгицид для защиты люпина узколистного от болезней в период вегетации

© 2024. Л. И. Пимохова, Г. А. Яговенко, Ж. В. Царапнева, Н. В. Мисникова✉

Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени им. В. Р. Вильямса», Брянская обл., Российская Федерация

В статье представлены результаты лабораторного и полевого изучения эффективности фунгицида Протазокс КС (концентрат суспензии) против антракноза и других болезней люпина. Работу проводили в 2020–2022 гг. в условиях Брянской области. Объект изучения – проростки и вегетирующие растения люпина узколистного сорта Витязь. Для определения эффективности защитных и лечебных свойств фунгицида Протазокс КС (азоксистробин + протиоконазол + дифенокназол, 200 + 125 + 60 г/л) в лабораторных условиях изучали три нормы применения – 0,5; 1,0; 1,5 л/га. Биологическую эффективность оценивали по количеству пораженных проростков, выращенных в бумажно-полиэтиленовых рулонах, в сравнении с контролем (без обработки фунгицидом). Высокую биологическую эффективность защитного и лечебного свойств (98,7 и 97,4 %) против антракноза показала максимально взятая норма применения фунгицида – 1,5 л/га, что соответствует эффективности эталонного фунгицида Колосаль Про при норме 0,4 л/га. В полевом опыте фунгицид Протазокс (1,5 л/га) применяли в посевах люпина в фазы «1-2 пар настоящих листьев» и «бутонизация», действенность фунгицида оценивали в сравнении с контролем без обработки. Биологическая эффективность изучаемого фунгицида против антракноза составила 95,8 %, что на 4,5 % выше эталонного Колосаль Про. К фазе «блестящий боб» количество пораженных антракнозом бобов в варианте с обработкой фунгицидом Протазокс уменьшилось до 1,5 % при 26,5 % в контроле. Поражение растений фузариозом снизилось с 24,6 % в контроле до 12,0 % в варианте с фунгицидом. Распространение на бобах серой и белой гнили сократилось соответственно в 5,0 и 6,7 раза. Сохранность продуктивных растений к уборке повысилась на 41,3 %. При использовании фунгицида Протазокс КС (1,5 л/га) получена существенная прибавка урожайности семян люпина узколистного 0,91 т/га ($HCp_{05} = 0,04$), окупаемость затрат составила 2,56 рубля.

Ключевые слова: *Lupinus angustifolius* L., патогены, антракноз, препарат, эффективность, урожайность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса» (тема № FGGW-2022-0004).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пимохова Л. И., Яговенко Г. Л., Царапнева Ж. В., Мисникова Н. В. Перспективный фунгицид для защиты люпина узколистного от болезней в период вегетации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):198–206. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.198–206>

Поступила: 19.02.2024

Принята к публикации: 06.04.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

A perspective fungicide for protection of narrow-leaved lupin from diseases during the growth season

© 2024. Ludmila I. Pimokhova, German L. Yagovenko, Zhanna V. Tsarapneva, Nadezhda V. Misnikova✉

All-Russian Lupine Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Bryansk region, Russian Federation

The article presents the laboratory and field tests results for the effectiveness of the fungicide Protazox SC (suspension concentrate) against anthracnose and other lupin diseases. The tests have been done in Bryansk region in 2020–2022. The study objects were seedlings and vegetative plants of the narrow-leaved lupin Vityaz variety. The effectiveness of protective and curative properties of the fungicide Protazox SC (azoxistrobin + protiokonazole + dipheconazole, 200 + 125 + 60 g/l) was tested for 0.5; 1.0 and 1.5 l/ha consumption rates under laboratory conditions. The biological effectiveness was evaluated according to the number of infected seedlings grown in paper-and-plastic rolls compared to the control variant (fungicide free). The maximal rate of the fungicide – 1.5 l/ha – had the highest biological effectiveness of protective and curative properties (98.7 and 97.4 %); this corresponds to the effectiveness of the reference fungicide Kolosal Pro with the using rate of 0.4 l/ha. In a field test the fungicide Protazox at using rate of 1.5 l/ha was applied for lupin crops at the growing stages of “1-2 pairs of true leaves” and “bud formation” of lupin. The fungicide effectiveness was evaluated compared to the control without treatment. Biological effectiveness of the tested fungicide against anthracnose made 95.8 %, it was 4.5 % higher than of the reference

fungicide Kolosal Pro. To the stage of "shiny pod" the number of anthracnose infected pods treated with the fungicide Protazox decreased to 1.5 % compared to 26.5 % in the control variant. Fusarium infection of plants decreased from 24.6 % in the control to 12.0 % in the variant with the fungicide. The spread of gray and white rot on beans decreased by 5.0 and 6.7 times, respectively. The viability of productive plants by the harvesting period increased by 41.3 %. Thanks to the application of the fungicide Protazox SC (1.5 l/ha) the significant narrow-leaved lupin seed yield rise of 0.91 t/ha was obtained (LSD₀₅ = 0.04); the cost recovery was 2.56 rubles.

Keywords: *Lupinus angustifolius* L., pathogens, anthracnose, chemicals, effectiveness, yield

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology (theme No. FGGW-2022-0004).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Pimokhova L. I., Yagovenko G. L., Tsarapneva Zh. V., Misnikova N. V. A perspective fungicide for protection of narrow-leaved lupin to diseases during the growth season. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):198–206. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.198-206>

Received: 19.02.2024

Accepted for publication: 06.04.2024

Published online: 24.04.2024

Люпин узколистый (*Lupinus angustifolius* L.) – наиболее скороспелый из всех видов люпина. Для созревания семян сумма активных температур составляет 1600–1700 °С. В областях Нечерноземья, севернее и восточнее г. Москва, люпин является единственной культурой, зерно которой может конкурировать с импортной соей при производстве высокобелковых кормовых добавок и сбалансированных по энергии и протеину объемистых кормов [1, 2, 3]. Содержание сырого протеина в зерне узколистного люпина составляет 34–38 %, в сухом веществе зеленой массы – 17–20 %. Урожайность зерна достигает 3–4 т/га, зеленой массы – 40–60 т/га. Количество жира в сухом веществе зерна составляет 4,06–5,10 %, в зеленой массе – 1,31–1,63 % [3, 4].

Расширение посевных площадей и продуктивность люпина узколистного сдерживается болезнями [5, 6]. Самой вредоносной из них является антракноз. Возбудитель болезни гриб *Colletotrichum lupini* var. *Lupini* поражает все надземные органы растения с образованием в тканях большого количества репродуктивного спороношения. Патоген интенсивно развивается при температуре воздуха 18–25 °С и влажности 80–95 %. Урожайность зерна люпина может снижаться на 40–98 % [5, 6, 7].

На сегодняшний день отсутствуют сорта люпина узколистного с абсолютной устойчивостью к этому грибковому заболеванию.

Большой вред посевам люпина узколистного наносит фузариоз, поражая надземную часть растений и корневую систему. Болезнь вызывается несовершенными грибами из рода *Fusarium* Link. Эпифитотийное развитие болезни наступает при чередовании засушливых погодных условий с обильными осадками, что приводит к заражению растений и их гибели, значительному снижению урожайности люпина [1, 3].

Серая гниль (*Botrytis cinerea* Pers.) – широко распространенное и вредоносное грибковое заболевание люпина во второй половине вегетации. На пораженном стебле и бобах образуется серый мицелий с конидиями гриба. Интенсивность развития заболевания определяется условиями влажности в период вегетации люпина. Потери урожая семян могут варьировать от 18,6 до 26,3 % [3, 6].

Белая гниль (склеротиния) – возбудитель болезни гриб *Sclerotinia sclerotiana* Fuck. Пораженные части растений (стебли, бобы) бледно-зеленого цвета, размягченные, на них развивается белый ватообразный мицелий гриба. Первые признаки поражения склеротинией отмечаются в июне-июле. В теплую погоду и при продолжительных осадках болезнь приобретает массовый характер. Потери урожая семян люпина узколистного в одновидовом посеве могут достигать от 3,0 до 34,7 % [6, 8].

Для получения стабильных урожаев зерна люпина узколистного необходимо применять высокоэффективные средства защиты посевов от комплекса заболеваний и, в первую очередь, от антракноза [1, 6, 9].

В Российской Федерации для защиты посевов люпина разрешено небольшое количество фунгицидов, которые не обладают высокой эффективностью против антракноза – грибкового заболевания. Химические компании по производству средств защиты ежегодно представляют новые фунгициды с высокой эффективностью против широкого спектра возбудителей заболеваний для обработки посевов сельскохозяйственных культур. Одним из них является фунгицид Протазокс, КС (концентрат суспензии). В его состав входит два действующих вещества из триазольной группы – дифеноконазол (60 г/л) и протиоконазол (125 г/л)

и одно из группы стробилуринов – азоксистробин (200 г/л). Данный фунгицид не только защищает посевы от комплекса различных заболеваний, но и продлевает вегетацию растений, что повышает их продуктивность. Протазокс при нормах применения 0,5–1,0 л/га рекомендован для защиты зерновых колосовых культур от широкого спектра болезней¹.

Для защиты посева люпина узколистного этот фунгицид не применялся, поэтому необходимо было изучить его защитные и лечебные свойства против антракноза и других болезней и установить высокоэффективную норму его применения.

Цель исследований – изучить биологическую и продукционную эффективность фунгицида Протазокс против антракноза и других болезней люпина узколистного, установить высокоэффективную норму его применения для включения в технологию возделывания.

Научная новизна – впервые изучено действие фунгицида Протазокс на люпин узколистный, определена высокоэффективная норма его применения против антракноза, других болезней, рост и развитие растений.

Материал и методы. Исследования выполняли в 2020–2022 гг. в лабораторных и полевых условиях ВНИИ люпина – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса». Объект исследований – проростки и вегетирующие растения люпина узколистного сорта Витязь.

В лабораторном опыте для определения эффективности фунгицида Протазокс против антракноза изучали три нормы применения – 0,5; 1,0; 1,5 л/га. Эталон служил зарегистрированный фунгицид Колосаль Про, рекомендованный для применения на люпине нормой 0,4 л/га. Воздействие фунгицидов определяли на проростках, выращенных в бумажно-полиэтиленовых рулонах: защитные свойства – на 4-суточных здоровых, лечебные – на 3-суточных зараженных проростках. В первом случае

здоровые проростки погружали в рабочий раствор фунгицида и возвращали их на рулон. Проростки контрольного варианта погружали в дистиллированную воду. Затем, спустя 30 минут, на проростки во всех вариантах наносили суспензию спор гриба *C. lupini* с титром 5×10^6 . Во втором случае проростки, зараженные антракнозом, погружали в раствор фунгицида и возвращали на рулон. Рулоны с проростками закручивали и помещали обратно в кюветы. Учет поражения проростков антракнозом проводили через 7 суток по морфологическим признакам спороношения в световом микроскопе. Объем выборки проростков на вариант составлял 180 шт. (6 рулонов по 30 шт. проростков)^{2, 3}.

Полевые исследования фунгицида Протазокс проводили при норме применения 1,5 л/га. Опыты закладывали в 4-кратной повторности на делянках площадью 32 м². Почва участка серая лесная легкосуглинистая с содержанием подвижных форм фосфора – 10,8 мг/100 г почвы, обменного калия – 13,1 мг/100 г почвы⁴, гумуса – 2,5 %. Посев люпина узколистного проводили сеялкой СН-16 в первую декаду мая. Норма высева – 1,2 млн всхожих семян/га. Растения люпина фунгицидами обрабатывали в период появления 1-2 пар настоящих листьев и в фазу «бутонизация». Для обработки данных использовали метод дисперсионного анализа⁵. Учет распространения болезней на растениях проводили в период «конец стеблевания - начало цветения» и в фазу «блестящий боб». Возбудителей заболеваний определяли по характерным признакам поражения растений, при необходимости уточнения использовали влажную камеру и световой микроскоп^{6, 7}. Эффективность фунгицида и его влияние на рост растений люпина узколистного изучали в разные фазы развития культуры⁸. Урожай семян определяли с каждой делянки путем сплошного обмолота бобов комбайном «Сампо-500».

¹Каталог продукции химической компании средств защиты растений. М.: ООО «Агро Эксперт Групп», 2021. 30 с.

²Гаджиева Г. И., Гутковская Н. С. Методические указания по определению зараженности семян люпина антракнозом. Минск: РУП «Институт защиты растений», 2013. 20 с.

³Хохряков М. К. Методические указания по экспериментальному изучению фитопатогенных грибов. Л.: ВИР, 1974. 69 с.

⁴ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с.

⁵Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

⁶Методы определения болезней и вредителей сельскохозяйственных растений. Пер. с нем. К. В. Попковой, В. А. Шмыгли. М.: Агропромиздат, 1987. 224 с.

⁷Кунгурцева О. В. Методы мониторинга антракноза люпина. СПб.: ВНИИ защиты растений, 2002. 11 с.

⁸Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. СПб, 2009. 378 с.

В период проведения полевых исследований (2020–2022 гг.) погодные условия были благоприятны для развития гриба *Colletotrichum lupini* и многих других патогенов в посевах люпина узколистного.

Вегетационный период 2020 года отличался теплыми и избыточно влажными (ГТК = 2,2) условиями. Май был прохладным и избыточно влажным (ГТК = 4,1). Достаточное количество тепла в июне и июле (20,3 и 18,8 °C) и осадков (104,7 и 75,9 мм) вызвали интенсивное развитие и распространение антракноза на растениях и молодых бобах с образованием розовых пятен, заполненных спороношением гриба.

В 2021 году погодные условия вегетационного периода были теплыми и влажными (ГТК = 1,97). Май характеризовался недостатком тепла (13,3 °C) и избыточным выпадением осадков (143,3 мм), что задержало развитие и проявление антракноза на растениях люпина. Оптимальная температура воздуха (19,9 °C) для развития патогена и избыточное количество осадков (153,7 мм) в июле способствовали интенсивному развитию и распространению заболевания в посевах.

Погодные условия вегетационного периода 2022 года сложились теплыми и влажными. (ГТК = 1,43). Май был холодным (11,4 °C) и избыточно-влажным (83,5 мм), июнь – жарким (19,4 °C) и влажным (89,8 мм), ГТК составил 1,57 единиц. Первые признаки антракноза на растениях люпина наблюдались уже в первую декаду июня. Болезнь массово отмечалась на

черешках листьев и листовых пластинках в виде пятен оранжевого цвета. В местах поражения черешки изгибались и надламывались, на листьях наблюдали оранжевые пятна со спороношением гриба. Условия вегетации в июле были также теплыми, влажными (ГТК = 1,52) и благоприятными для распространения антракноза. В этот период проходила фаза «образование бобов» люпина. На молодых бобах происходило интенсивное развитие патогена. Август отличался теплыми и засушливыми условиями (ГТК = 0,26), температура воздуха была выше среднеиюньской на 4,2 °C (20,8 °C). В этих условиях развитие и распространение серой и белой гнили на бобах не происходило, поэтому количество бобов с поражением этими болезнями было незначительным.

В годы проведения исследований интенсивность развития фузариоза на растениях люпина в период вегетации определялась как температурой, так и влажностью почвы. Смена дождливых дней жаркими и сухими приводила к резкому снижению влажности почвы, что способствовало ослаблению растений люпина, снижению их устойчивости к заболеваниям и увеличению количества поражения фузариозом.

Результаты и их обсуждение. Лабораторными исследованиями было установлено, что фунгицид Протазокс обладает высокой активностью против возбудителя антракноза. В зависимости от норм применения, эффективность его лечебных свойств составила 90,3–97,4 %, защитных 92,3–98,7 % (табл. 1).

Таблица 1 – Эффективность норм фунгицида Протазокс, применяемых против инфекции антракноза, и их влияние на рост проростков люпина узколистного сорта Витязь в лабораторных условиях /
Table 1 – The effectiveness of the rates of the fungicide Protazox against anthracnose infection and their effect on the growth of the narrow-leaved lupin seedlings var. Vityaz under laboratory conditions

Вариант / Variant	Норма, л/га / Rate, l/ha	Свойство / Property			
		защитное / protective		лечебное / curative	
		длина гипокотыля, мм / hypocotyl length, mm	эффективность, % / effectiveness, %	длина гипокотыля, мм / hypocotyl length, mm	эффективность, % / effectiveness, %
Контроль / Control	–	40,2	-	52,3	-
Колосаль Про (тебуконазол 200 + пропиконазол 300 г/л), эталон / Kolosal Pro (tebuconazole 200 + propiconazole 300 g/l), reference	0,4	32,3	98,3	25,5	97,4
Протазокс (азоксистробин + протиоконазол + дифеноконазол, 200 + 125 + 60 г/л) / Protazox (azoxistrobine + protioconazole + dipheconazole, 200 + 125 + 60 g/l)	0,5	41,2	92,3	52,1	90,3
	1,0	38,8	96,7	49,7	94,3
	1,5	37,7	98,7	49,0	97,4
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	0,36	-	0,47	-

Наибольшую эффективность против гриба *Colletotrichum lupini*, вызывающего у люпина антракноз, показала максимальная норма применения фунгицида – 1,5 л/га. Биологическая эффективность защитных и лечебных свойств составила 98,7 и 97,4 % соответственно – на уровне эффективности эталонного фунгицида Колосаль Про.

На пораженных патогеном проростках наблюдали темно-коричневые пятна со спороношением гриба на гипокотиле, семядольных и настоящих листьях. Изучение лечебных свойств

фунгицида против антракноза проводили на семенах с инфицированностью патогеном 88,5 %. В процессе исследований количество проростков с признаками антракноза в вариантах с фунгицидом Протазокс сократилось до 4 и 15 шт., в контроле количество таких проростков составило 155 шт. (86,1 %). При изучении защитных свойств фунгицидов в контрольном варианте количество 11-суточных проростков с признаками антракноза составило 172 шт. (95,6 % из 180 шт. проростков, взятых для опыта). Пораженные проростки в рулонах сначала увядали, затем погибали (рис. 1).



Рис. 1. Состояние 11-суточных проростков люпина узколистного сорта Витязь с защитным свойством фунгицидов против антракноза: 1 – контроль (без обработки фунгицидом); 2 – Колосаль Про – 0,4 л/га; Протазокс: 3 – 0,5 л/га; 4 – 1,0 л/га; 5 – 1,5 л/га /

Fig. 1. The condition of the 11-days old narrow-leaved lupin seedlings var. Vityaz in the tests with a protective property of the fungicides against anthracnose: 1 – control (fungicide free); 2 – Kolosal Pro – 0.4 l/ha; Protazox: 3 – 0.5 l/ha; 4 – 1.0 l/ha; 5 – 1.5 l/ha

В вариантах с фунгицидом Протазокс количество проростков с симптомами антракноза составило от 0,6 до 4,4 %. Изучаемый фунгицид Протазокс оказывал небольшое ингибирующее влияние на рост проростков. Наибольшее снижение длины гипокотиля проростков к контролю отмечали в варианте с нормой фунгицида 1,5 л/га. При изучении защитных и лечебных свойств фунгицида длина гипокотиля проростков достоверно снизилась на 2,5 и 3,3 мм, в эталонном варианте длина проростков уменьшилась на 7,9 и 26,8 мм соответственно. Данное влияние оказывает действующее вещество фунгицида Колосаль Про – тебуконазол, подавляя биосинтез гормона роста гибберелина, что замедляет процессы роста осевых органов растений [10].

Полученные в лабораторных условиях результаты изучения норм применения фунгицида Протазокс по активности против антрак-

ноза и влиянию на рост проростков показали, что для достижения наибольшей эффективности защиты посевов люпина узколистного от возбудителя антракноза его необходимо применять при норме 1,5 л/га. С учетом результатов лабораторных испытаний, в полевом опыте фунгицид изучали с нормой 1,5 л/га.

Многие авторы отмечают, что при наступлении теплой погоды с частыми дождями в период вегетации один прием протравливания семян не спасает посевы люпина и других культур от поражения многими вредоносными заболеваниями, что приводит к значительным потерям урожая. В связи с этим необходимо проводить обработки посевов высокоэффективными фунгицидами, начиная с ранних фаз развития культур [9, 11].

В годы проведения исследований благоприятные погодные условия для развития и распространения антракноза и многих других

болезней на люпине узколистом отмечали в первую половину вегетационного периода. Интенсивное развитие антракноза на растениях наблюдали в фазу «бутонизация» в виде светло-розовых пятен на стеблях и черешках листьев. Глубокое проникновение мицелия гриба в ткань стебля или черешка вызывало их искривление (рис. 2, а). Количество растений

с инфекцией возбудителя болезни стремительно возрастало. В дальнейшем при выпадении осадков инфекция антракноза в виде конидий гриба воздушно-капельным путем переносилась на молодые бобы. Со временем на пораженной ткани бобов появлялись пятна оранжевого цвета со спороношением гриба, вызывая их деформацию (рис. 2, б).



Рис. 2. Поражение антракнозом люпина узколистого сорта Витязь: а) искривление главного стебля растений в фазу «бутонизация»; б) деформация верхней части бобов в фазу «сизо-блестящий боб» /

Fig. 2. The anthracnose infection of the narrow-leaved lupin var. Vityaz: a) deviation of the main plants' stem in the bud formation stage; b) crippling of the pods' top in the stage of dove-shiny pods

В среднем за годы исследований поражение бобов антракнозом в контрольном посеве было на 11,3 % больше, чем поражение растений. Применение фунгицида Протазокс (1,5 л/га) на посевах люпина узколистом в период 1-2 пар настоящих листьев и в фазу «бутонизация»

значительно сократило количество пораженных растений антракнозом и другими болезнями, в фазу «цветение» количество пораженных растений уменьшилось с 37,8 % в контроле до 1,6 % (табл. 2).

Таблица 2 – Биологическая эффективность фунгицидов против комплекса болезней люпина узколистого сорта Витязь (полевой опыт, в среднем за 2020–2022 гг.) /

Table 2 – Biological effectiveness of fungicides against disease complex of the narrow-leaved lupin variety Vityaz (field experiment, average for 2020–2022)

Вариант / Variant	Норма, л/га / Rate, l/ha	Поражение болезнями в фазы роста и развития, % / Disease infection at growth and development stages, %					Эффективность против антракноза, % / Effectiveness against anthracnose, %
		стеблевание - цветение / stem formation - blooming		блестящие бобы / shiny pods			
		антракноз / anthracnose	фузариоз / fusariose	антракноз / anthracnose	серая гниль / gray rot	белая гниль / white rot	
Контроль / Control	-	37,8	24,6	26,5	1,6	0,2	-
Колосаль Про – эталон / Kolosal Pro – reference	0,4	3,3	16,7	3,2	0,4	0,06	91,3
Протазокс / Protazox	1,5	1,6	12,0	1,5	0,3	0,03	95,8
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	0,32	0,32	0,38	-	-	-

Биологическая эффективность изучаемого фунгицида против антракноза в фазу «стеблевание - цветение» превысила эталонный Колосаль Про на 4,5 % и составила 95,8 %. В фазу «блестящий боб» в варианте с фунгицидом Протазокс количество бобов, пораженных этим заболеванием, составило 1,5 % при 26,5 % в контроле. В вариантах с фунгицидами наблюдали меньшее количество больных фузариозом растений и бобов, пораженных серой и белой гнилью.

Фунгицид Протазокс сократил поражение растений фузариозным увяданием на 12,6 %, а эталонный фунгицид – на 7,9 %.

По мнению многих исследователей, фузариозное увядание люпина узколистного снижает урожай зерна на 17–50 %, а поражение серой гнилью – 20–30 % [11, 12, 13].

Биологическая эффективность изучаемого фунгицида против серой и белой гнили высокая – соответственно 81,3 и 85,0 %. На рост растений изучаемый фунгицид оказал небольшое ингибирующее действие. К фазе «полная спелость» высота растений уменьшилась по сравнению с контролем на 2,8 см (табл. 3).

Таблица 3 – Действие фунгицидов на рост растений и урожайность люпина узколистного сорта Витязь (полевой опыт, в среднем за 2020–2022 гг.) /
Table 3 – The effect of fungicides on the plant growth and yield of the narrow-leaved lupin variety Vityaz (field experiment, average for 2020–2022)

Вариант / Variant	Высота растений в фазу полной спелости, см / Plant height full ripeness stage, cm	Продуктивные растения к уборке, шт/м ² / Productive plants to the harvest, pcs/m ²	Количество бобов на растении, шт. / Pods number Per a plant, pcs.	Урожайность семян, т/га / Seed yield, t/ha	Прибавка урожая семян, т/га / Seed yield rise, t/ha	Окупаемость затрат, руб./руб. / Cost recovery, ruble / ruble
Контроль / Control	51,0	35,9	4,1	0,62	-	-
Колосаль Про (0,4 л/га) – эталон / Kolosal Pro – reference (0.4 l/ha)	46,4	52,6	4,8	1,27	0,65	5,28
Протазокс (1,5 л/га) / Protazox (1.5 l/ha)	48,2	61,2	5,1	1,53	0,91	2,56
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,88	-	0,33	0,04	-	-

Обработка посева люпина фунгицидом Протазокс позволила значительно сократить поражение его болезнями и к фазе полной спелости сохранить больше продуктивных растений. В данном варианте количество сохранившихся продуктивных растений составило 61,2 шт/м², в контроле – 35,9 шт/м², количество бобов соответственно составило 5,1 и 4,1 штук на растении.

Использование фунгицида Протазокс – 1,5 л/га для защиты люпина узколистного от комплекса болезней, в том числе и антракноза, позволило получить достоверную прибавку урожая семян 0,91 т/га и окупить затраты.

Заключение. Проведенные исследования фунгицида Протазокс в лабораторных и полевых опытах выявили его высокие лечебные и защитные свойства против возбудителя антракноза и многих других опасных болезней люпина узколистного. Наибольшую биологическую эффективность изучаемый фунгицид показал

при норме применения 1,5 л/га. Обработка посева в период 1-2 пар настоящих листьев и фазу «бутонизация» сократила поражение растений и бобов антракнозом на 95,8 и 94,3 % соответственно, а поражение растений фузариозом сократилось в 2 раза, распространение на бобах серой и белой гнили на 81,3 и 85,0 % соответственно. Увеличилась сохранность продуктивных растений к уборке на 25,3 шт. по сравнению с вариантом без обработки фунгицидом, что позволило повысить урожай семян на 0,91 т/га и окупить затраты в размере 2,56 руб/руб.

Авторы данных исследований надеются, что полученные положительные результаты по изучению биологической эффективности фунгицида Протазокс (1,5 л/га) против антракноза и других болезней люпина ускорят его регистрацию в качестве разрешенного на территории РФ препарата для защиты посевов люпина узколистного от комплекса болезней.

Список литературы

1. Конончук В. В., Тимошенко С. М., Назарова Т. О., Штырхунув В. Д., Меднов А. В. Ресурсосберегающая технология возделывания районированных в Центральном регионе Нечерноземной зоны сортов люпина узколистного в чистом виде и в смесях со злаковыми зерновыми культурами. М.: ФИЦ «Немчиновка», 2022. 48 с.
2. Taylor J. L., De Angelis G., Nelson M. N. How have narrow-leaved lupin genomic resources enhanced our understanding of lupin domestication? In: Singh K., Kamphuis L., Nelson M. (eds). The Lupin Genome. Compendium of Plant Genomes. Springer Cham., 2020. pp. 95–108. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-21270-4_8
3. Косолапов В. М., Яговенко Г. Л., Лукашевич М. И., Агеева П. А., Новик Н. В., Мисникова Н. В., Слесарева Т. Н., Такунов И. П., Пимохова Л. И., Яговенко Т. В. Люпин: селекция, возделывание, использование. Брянск: Брянское областное полиграфическое объединение, 2020. 304 с.
4. Агеева П. А., Почутина Н. А., Матюхина М. В. Люпин узколистный – источник ценных питательных веществ, для использования в кормопроизводстве. Кормопроизводство. 2020;(10):29–32. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44576992> EDN:NBXRDL
5. Конончук В. В., Тимошенко С. М., Назарова Т. О., Штырхунув В. Д., Никиточкин Д. Н., Шуркин А. Ю., Колотилица З. М. Зерновая продуктивность и азотфиксирующая способность люпина узколистного в зависимости от норм высева, удобрений и применения гербицидов при разных погодных условиях в центре Нечерноземной зоны России. Зернобобовые и крупяные культуры. 2021;2(38):104–114. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-2-104-114> EDN: WBCOIS
6. Пимохова Л. И., Яговенко Г. Л. Болезни и вредители люпина: система и средства защиты. Брянск: Читайгород, 2020. 88 с.
7. Alkemade J. A., Messmer M. M., Voegelé R. T., Finckh M. R., Hohmann P. Genetic diversity of *Colletotrichum lupini* and its virulence on white and Andean lupin. Scientific Reports. 2021;11:13547. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92953-y>
8. Пимохова Л. И., Яговенко Г. Л., Царапнева Ж. В., Мисникова Н. В. Развитие белой гнили на люпине узколистном (*Lupinus angustifolius* L.) и белом (*Lupinus albus* L.) в одновидовых и смешанных посевах при разных погодных условиях Брянской области. Сельскохозяйственная биология. 2020;55(6):1257–1267. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.6.1257rus> EDN: EXYGKX
9. Ашмарина Л. Ф., Бакшаев Д. Ю., Ермохина А. И., Садохина Т. А. Болезни люпина в Западной Сибири. Защита и карантин растений. 2019;(2):19–20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36922330&ysclid=142pic6d4j> EDN: PNZQEB
10. Побежимова Т. П., Корсукова А. В., Дорофеев Н. В., Грабельных О. И. Физиологические эффекты действия на растения фунгицидов триазольной природы. Известия ВУЗов. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019;9(3):461–476. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-461-476> EDN: VLYINU
11. Запрудский А. А., Яковенко А. М., Гаджиева Г. И., Привалов Д. Ф., Белова Е. С., Гутковская Н. С., Пенязь Е. В. Защита посевов кормовых бобов и люпина узколистного от болезней в период вегетации. Наше сельское хозяйство. 2020;(9(233)):98–103.
12. Слободчиков А. А. Влияние средств защиты растений на продуктивность сортов яровой пшеницы. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(2):10–14. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10202> EDN: YMHWRU
13. Андреева И. В., Ашмарина Л. Ф., Шаталова Е. И. Особенности изменения фитосанитарного состояния кормовых культур в условиях Западной Сибири. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(10):26–30. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11006> EDN: OKBZFW

References

1. Kononchuk V. V., Timoshenko S. M., Nazarova T. O., Shtyrkhunov V. D., Mednov A. V. Resource-saving technology of cultivation of narrow-leaved lupine varieties zoned in the Central region of the Non-Chernozem zone in pure form and in mixtures with cereal crops. Moscow: FITs «Nemchinovka», 2022. 48 p.
2. Taylor J. L., De Angelis G., Nelson M. N. How have narrow-leaved lupin genomic resources enhanced our understanding of lupin domestication? In: Singh K., Kamphuis L., Nelson M. (eds). The Lupin Genome. Compendium of Plant Genomes. Springer Cham., 2020. pp. 95–108. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-21270-4_8
3. Kosolapov V. M., Yagovenko G. L., Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Novik N. V., Misnikova N. V., Slesareva T. N., Takunov I. P., Pimokhova L. I., Yagovenko T. V. Lupin: breeding, cultivation, use. Bryansk: *Bryanskoe oblastnoe poligraficheskoe ob"edinenie*, 2020. 304 p.
4. Ageeva P. A., Pochutina N. A., Matyukhina M. V. Blue lupine – source of valuable nutrients in forage production. *Kormoproduzstvo* = Forage Production. 2020;(10):29–32. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44576992>
5. Kononchuk V. V., Timoshenko S. M., Nazarova T. O., Shtyrkhunov V. D., Nikitochkin D. N., Shurkin A. Yu., Kolotilitsa Z. M. Grain productivity and nitrogen-fixing capacity of lupine narrow-leaf depending on seeding rates, fertilizers and application of herbicides under different weather conditions in the center of the Non-black earth zone of Russia. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2021;2(38):104–114. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-2-104-114>
6. Pimokhova L. I., Yagovenko G. L. Lupine diseases and pests: system and means of protection. Bryansk: *Chitaygorod*, 2020. 88 p.

7. Alkemade J. A., Messmer M. M., Voegelé R. T., Finckh M. R., Hohmann P. Genetic diversity of *Colletotrichum lupini* and its virulence on white and Andean lupin. Scientific Reports. 2021;11:13547.

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92953-y>

8. Pimokhova L. I., Yagovenko G. L., Tsarapneva Zh. V., Misnikova N. V. Development of sclerotinia in narrowleaf (*Lupinus angustifolius* L.) and white (*Lupinus albus* L.) lupin single and mixed crops under different weather conditions in Bryansk region. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2020;55(6):1257–1267. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2020.6.1257rus>

9. Ashmarina L. F., Bakshaev D. Yu., Ermokhina A. I., Sadokhina T. A. Lupine diseases in western Siberia. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2019;(2):19–20. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36922330&ysclid=l42pj6d4j>

10. Pobezhimova T. P., Korsukova A. V., Dorofeev N. V., Grabelnykh O. I. Physiological effects of triazole fungicides in plants. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2019;9(3):461–476. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-461-476>

11. Zaprudskiy A. A., Yakovenko A. M., Gadzhieva G. I., Privalov D. F., Belova E. S., Gutkovskaya N. S., Penyaz E. V. Protection of crops of forage beans and narrow-leaved lupine from diseases during the growing season. *Nashe sel'skoe khozyaystvo*. 2020;(9(233)):98–103. (In Belarus).

12. Slobodchikov A. A. The influence of plant protection products on the yield of spring wheat varieties. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(2):10–14. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10202>

13. Andreeva I. V., Ashmarina L. F., Shatalova E. I. Features of changes in the phytosanitary condition of forage crops in Western Siberia. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2019;33(10):26–30. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11006>

Сведения об авторах

Пимохова Людмила Ивановна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, руководитель направления сортовых технологий возделывания люпина, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ ФНЦ «ВИК им В. Р. Вильямса», д. 2, ул. Берёзовая, п. Мичуринский, Брянский р-н, Брянская обл., Российская Федерация, 241524, e-mail: lupin.fitopat@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9565-8176>

Яговенко Герман Леонидович, доктор с.-х. наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ ФНЦ «ВИК им В. Р. Вильямса», д. 2, ул. Берёзовая, п. Мичуринский, Брянский р-н, Брянская обл., Российская Федерация, 241524, e-mail: lupin_mail@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3205-230X>

Царапнева Жанна Владимировна, старший научный сотрудник направления сортовых технологий возделывания люпина, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ ФНЦ «ВИК им В. Р. Вильямса», д. 2, ул. Берёзовая, п. Мичуринский, Брянский р-н, Брянская обл., Российская Федерация, 241524,

e-mail: lupin.fitopat@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0311-5896>

✉ **Мисникова Надежда Викторовна**, кандидат с.-х. наук, ученый секретарь, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ ФНЦ «ВИК им В. Р. Вильямса», д. 2, ул. Берёзовая, п. Мичуринский, Брянский р-н, Брянская обл., Российская Федерация, 241524, e-mail: lupin.fitopat@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5746-6539>, e-mail: lupin_nvmsnikova@mail.ru

Information about the authors

Ludmila I. Pimokhova, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Head of the Department for variety technologies of lupin cultivation, All-Russian Lupin Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Berezovaya street, 2, p/o Mitchurinsky, Bryansk region, Russian Federation, 241524,

e-mail: lupin.fitopat@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9565-8176>

German L. Yagovenko, DSc in Agricultural Science, Director, All-Russian Lupin Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Berezovaya street, 2, p/o Mitchurinsky, Bryansk region, Russian Federation, 241524, e-mail: lupin_mail@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3205-230X>

Zhanna V. Tsarapneva, senior researcher, the Department for variety technologies of lupin cultivation, All-Russian Lupin Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Berezovaya street, 2, p/o Mitchurinsky, Bryansk region, Russian Federation, 241524, e-mail: lupin.fitopat@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0311-5896>

✉ **Nadezhda V. Misnikova**, PhD in Agricultural Science, scientific secretary, All-Russian Lupin Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Berezovaya street, 2, p/o Mitchurinsky, Bryansk region, Russian Federation, 241524, e-mail: lupin.fitopat@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5746-6539>, e-mail: lupin_nvmsnikova@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.207-215>

УДК 631.582:631.452

Продуктивность севооборотов с разными видами пара и их влияние на содержание гумуса в дерново-подзолистой почве Среднего Предуралья© 2024. Д. С. Фомин, С. С. Полякова , Дм. С. Фомин*Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация*

Исследования проводили в условиях Пермского края на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах в длительном стационарном опыте, заложенном в 1977 г. Цель исследований – изучить влияние различных видов пара на продуктивность севооборотов и содержание гумуса в почве. Данные приведены за две ротации (2009–2022 гг.) парозернотравяных севооборотов с различными видами пара – унавоженный чистый, занятый клеверный, занятый донниковый, сидеральный клеверный и сидеральный донниковый – без внесения минеральных удобрений и с внесением удобрений ($N_{60}P_{30}K_{60}$). Установлено, что в занятых парах масса корневых и поукосных растительных остатков клевера лугового и донника желтого в зависимости от фона питания достигала 4,08–4,36 т/га с содержанием азота 41,8–46,9 кг/га, фосфора 16,7–18,6 кг/га и калия 42,7–69,6 кг/га. В сидеральных парах с биомассой клевера и донника в почву поступало соответственно 6,99–9,04 и 6,83–8,53 т/га сухого вещества с содержанием 133,5–148,1 кг/га азота, 34,3–41,2 фосфора и 121,2–148,9 калия. Внесение органических удобрений в паровом поле способствовало повышению содержания гумуса на 0,19 абс. % к исходному (2,04 %) в варианте без внесения минеральных удобрений и на 0,69 абс. % к исходному (2,08 %) в варианте с внесением минеральных удобрений. Клеверный сидеральный пар также способствовал увеличению содержания гумуса в почве на 0,38–0,52 абс. %. Отмечена повышенная продуктивность севооборота с сидеральным донниковым паром (2,22–2,25 т/га з. ед. в год) относительно традиционного севооборота с чистым паром (2,08–2,11 т/га з. ед. в год). Возделывание культур во всех изучаемых севооборотах было энергетически эффективным, коэффициент энергетической эффективности составил в вариантах без внесения минеральных удобрений 3,63...4,48, на фоне NPK – 2,38...3,21.

Ключевые слова: минеральные удобрения, органическое вещество, длительный стационарный опыт, побочный продукт животноводства

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (тема № 122032200247-7).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Фомин Д. С., Полякова С. С., Фомин Дм. С. Продуктивность севооборотов с разными видами пара и их влияние на содержание гумуса в дерново-подзолистой почве Среднего Предуралья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):207–215. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.207-215>

Поступила: 01.11.2023

Принята к публикации: 04.03.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

Productivity of crop rotations with different types of fallow and their effect on the humus content in sod-podzolic soil the Middle Urals© 2024. Denis S. Fomin, Sofia S. Polyakova , Dmitry S. Fomin*Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Region, Russian Federation*

The research was carried out in the conditions of the Perm Region on sod-podzolic heavy loamy soils in a long stationary plot trial, laid down in 1977. The purpose of the research is to study the effect of various types of fallow on crop rotation productivity and humus content in the soil. The data are given for two rotations (2009–2022) of fallow-grain-grass crop rotations with various types of fallow – with manurial, sown with clover, sown with melilot, sidereal with clover and sidereal with melilot – without mineral fertilizers and with fertilizers ($N_{60}P_{30}K_{60}$). It was found that in the sown fallows, the mass of root and mowing plant residues of meadow clover and yellow melilot, depending on the nutrition background, reaches 4.08–4.36 t/ha with a nitrogen

content of 41.8–46.9 kg/ha, phosphorus 16.7–18.6 kg/ha and potassium 42.7–69.6 kg/ha. In sidual fallow with clover and clover biomass, 6.99–9.04 t/ha and 6.83–8.53 t/ha of dry matter with a content of 133.5–148.1 kg/ha of nitrogen, 34.3–41.2 phosphorus and 121.2–148.9 potassium were supplied to the soil, respectively. The application of organic fertilizers in the fallow field contributed to an increase in the humus content by 0.19 abs.% to the initial (2.04 %) in the variant without mineral fertilizers and by 0.69 abs.% in the variant with the introduction of mineral fertilizers to the initial (2.08 %) Clover sidual fallow also contributed to an increase in the humus content in the soil by – 0.38–0.52 abs.%. There was an increased productivity of crop rotation with sidual mellot fallow (2.22–2.25 t/ha of grain units per year) relative to the traditional crop rotation with pure fallow (2.08–2.11 t/ha of grain units per year). Cultivation of crops in all studied crop rotations was energetically efficient, the energy efficiency coefficient was 3.63...4.48 in the variants without mineral fertilizers, against the background of NRK – 2.38...3.21.

Keywords: mineral fertilizers, organic matter, long stationary plot trial, a byproduct of animal husbandry

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 122032200247-7).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Fomin D. S., Polyakova S. S., Fomin Dm. S. Productivity of crop rotations with different types of fallow and their effect on the humus content in sod-podzolic soil the Middle Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*=Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):207–215. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.207-215>

Received: 01.11.2023

Accepted for publication: 04.03.2024

Published online: 24.04.2024

В большинстве сельскохозяйственных предприятий Пермского края, в современных условиях слабого ресурсного обеспечения, использование минеральных удобрений и побочных продуктов животноводства (ППЖ) с целью повышения плодородия наиболее распространенных дерново-подзолистых почв (70,1 %) сильно ограничено. По данным ряда исследований, сокращение использования ППЖ (с 4,6 до 1,7 т/га), в том числе навоза, привело к отрицательному балансу гумуса на полях [1, 2, 3], также сократилось использование и других элементов интенсивных технологий¹ [4]. В связи с этим, при разработке систем ведения сельского хозяйства, необходимо уделять особое внимание чередованию культур, которое играет ключевую роль в агротехнологиях – помогает регулировать почвенные процессы, способствует сохранению и рациональному использованию запасов влаги в почве, облегчает борьбу с сорняками, болезнями и вредителями. Не менее актуальными остаются задачи использования земель с сохранением их плодородия, применения ресурсо- и энергосберегающих технологий возделывания с.-х. культур для получения экономически выгодной продукции сельскохозяйственного производства [5, 6].

Севообороты решают еще ряд важных вопросов, связанных с воспроизводством плодородия почвы: реализация адаптивного и биологического потенциала культурных растений, повышение устойчивости агрофитоценозов и эффективности использования земельных ресурсов. Один из главных способов решения –

биологизация и экологизация земледелия, связанные с расширением посевов бобовых культур, особенно многолетних, в занятых и сидеральных парах.

Бобовые культуры (клевер, люцерна, донник) и зернобобовые (горох, фасоль, вика, соя и люпин) имеют высокую способность фиксировать азот из воздуха и переводить его в доступные для растений формы. Благодаря этому, они могут улучшать плодородие почвы и способствовать росту растений, особенно в условиях недостаточного количества азота в почве. Кроме того, бобовые культуры являются хорошими сидератами и способны улучшать структуру почв. Однако при слишком высокой насыщенности бобовыми культурами в севообороте может возникнуть проблема избытка азота в почве и накопления нитратов в получаемом урожае [7].

Поэтому для достижения максимальной продуктивности севооборота с бобовыми культурами, необходимо правильно выбирать их количество и время посева. Важно также регулировать внесение питательных веществ в зависимости от потребности в них других культур севооборота.

Кроме того, необходимо учитывать агроклиматические условия при выборе культур для севооборота. Например, в засушливых регионах бобовые культуры могут помочь сохранить влагу в почве и улучшить её структуру, что в свою очередь может повысить урожайность других культур [8].

¹Пермский край в цифрах. 2023: краткий статистический сборник. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю. Пермь, 2023. 197 с.
URL: <https://59.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Пермский%20край%20в%20цифрах%202023.pdf>

В условиях Среднего Предуралья, которые все чаще характеризуются засушливыми периодами вегетации, применение парового клина становится практически единственным способом повысить урожайность, стабильность и качество зернопроизводства при недостаточном внесении в почву питательных веществ. При этом, несмотря на недостатки, сопряженные с использованием парового клина – деградация структуры почвы, повышение риска эрозии, ускорение минерализации органического вещества и гумуса, отсрочка отдачи инвестиций на год – паровое поле стоит рассматривать как важнейший способ интенсификации растениеводства, обеспечивающий возможность значительного улучшения фитосанитарного состояния почвы, аккумуляции влаги и азотных соединений, внесения удобрений и проведения мелиоративных работ. Выбор конкретного типа парового поля определяется агроландшафтными условиями и возможностью осуществления полного комплекса агротехнических операций в оптимальные для культивируемой культуры сроки.

Альтернативной заменой чистых паров на отдаленных участках от мест хранения или получения ППЖ в Среднем Предуралье должны стать сидеральные и занятые пары, которые являются важными элементами севооборота, так как позволяют улучшить плодородие почвы и повысить урожайность сельскохозяйственных культур.

Принимая во внимание позитивные и негативные стороны различных паровых систем, исследование эффективности севооборотов с разными видами пара и долей бобовых культур в условиях Среднего Предуралья не теряет своей актуальности, так как позволяет определить оптимальные схемы чередования культур и параметры пара для конкретных условий региона. Такое изучение может иметь большое практическое значение для сельхозтоваропроизводителей, которые смогут повысить урожайность возделываемых культур и снизить затраты на их производство.

Цель исследований – изучить влияние различных видов пара на продуктивность севооборотов и содержание гумуса в дерново-подзолистой почве Среднего Предуралья.

Задачи исследования:

1. Изучить влияние севооборотов с сидеральными и занятыми парами на содержание гумуса в почве.

2. Оценить энергетическую эффективность производства продукции в изучаемых севооборотах.

3. Определить оптимальные схемы севооборотов для условий Среднего Предуралья с использованием различных видов пара.

Научная новизна – изучение изменений содержания гумуса в дерново-подзолистой почве за две ротации парозернотравяных севооборотов под воздействием чистых, занятых и сидеральных паров, а также оценка биоэнергетической эффективности получения продукции в севооборотах в зависимости от использования вида пара, органических и минеральных удобрений.

Материал и методы. Исследования проводили в длительном стационаре на опытном поле Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН в 2009–2022 гг. Почва опытного участка – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, характеризовалась перед закладкой опыта в 1977 г. как малогумусная (1,90 %) и среднекислая ($pH_{\text{кол}} = 4,8$), с высоким содержанием подвижных форм фосфора (174 мг/кг почвы) и повышенным – калия (158 мг/кг почвы) (по Кирсанову). В 2009 г. в вариантах опыта установилась среднекислая и слабокислая реакция почвенной среды ($pH_{\text{кол}} = 5,00 \pm 0,35$), содержание подвижных форм фосфора и калия в почве достигло высоких значений – 230 ± 10 и 190 ± 8 мг/кг почвы соответственно, почвы характеризовались по содержанию гумуса как малогумусные и среднегумусные ($2,10 \pm 0,65$ %).

Схема опыта

Севообороты с разными видами пара (фактор А):

- I. Чистый пар (унавоженный) – контроль.
- II. Занятый пар (клевер 1 г. п.).
- III. Сидеральный пар (клевер 1 г. п.).
- IV. Занятый пар (донник 1 г. п.).
- V. Сидеральный пар (донник 1 г. п.).

Минеральные удобрения (фактор В):

1. Без удобрений (0) – контроль.
2. $N_{60}P_{30}K_{60}$.

Чередование культур в севооборотах

I (контроль)

1. Унавоженный чистый пар.
2. Озимая рожь.
3. Пшеница яровая + клевер.
4. Клевер 1 г. п.
5. Клевер 2 г. п.
6. Ячмень.
7. Овес.

II

1. Занятый пар (клевер 1 г. п.).
2. Озимая рожь.
3. Пшеница яровая + клевер.
4. Клевер 1 г. п.
5. Клевер 2 г. п.
6. Ячмень.
7. Овес + клевер.

III

1. Сидеральный пар (клевер 1 г. п.).
2. Озимая рожь.
3. Пшеница яровая + клевер.
4. Клевер 1 г. п.
5. Клевер 2 г. п.
6. Ячмень + клевер.
7. Овес + клевер.

IV

1. Занятый пар (донник 1 г. п.).
2. Озимая рожь.
3. Пшеница яровая + клевер.
4. Клевер 1 г. п.
5. Клевер 2 г. п.
6. Ячмень.
7. Овес + донник.

V

1. Сидеральный пар (донник 1 г. п.).
2. Озимая рожь.
3. Пшеница яровая + клевер.
4. Клевер 1 г. п.
5. Клевер 2 г. п.
6. Ячмень.
7. Овес + донник.

Повторность вариантов опыта 3-кратная. Общая площадь делянки для фактора А (севооборот) – 1800 м², фактора В (удобрения) – 150 м². В севооборотах возделывали рекомендуемые для Пермского края сорта зерновых и многолетних трав.

Минеральные удобрения использовали в следующих количествах: азотные и калийные – по 60 кг д. в., фосфорные – по 30 кг д. в. на гектар, вносили перед посевом яровых зерновых культур под культивацию в виде аммиачной

селитры, аммофоса и хлористого калия, под озимую рожь – перед посевом под культивацию в форме аммиачной селитры (половинная доза), простого суперфосфата и хлористого калия, после схода снега проводили подкормку в форме аммиачной селитры (половинная доза). Навоз вносили в паровое поле контрольного севооборота с насыщенностью 6-7 тонн на гектар пашни.

Агротехника культур включала в себя зяблевую вспашку оборотным плугом KUHN MULTI MASTER 113 NSH-5, ранневесеннее боронование боронами БЗСТ-1, предпосевную культивацию универсальным культиватором КБМ-8П, посев сеялкой Amazone D9-4000, послепосевное прикатывание катками ЗКК-8. Уборку зерновых проводили при полной спелости комбайном Sampo SR-2010, многолетних трав – в фазу цветения методом площадок.

В почвенных образцах определяли содержание гумуса (ГОСТ 26213-2021), подвижного фосфора и обменного калия (ГОСТ 54650-2011), в растительных образцах – содержание основных питательных элементов (N, P₂O₅, K₂O) по В. В. Пиневиц в модификации В. Т. Куркаева². Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову³. Энергетическую эффективность получения продукции в севооборотах рассчитывали по рекомендациям Ю. Н. Зубарева с соавт.⁴, количество поступающего в почву органического вещества – по методике Т. А. Кротких и Л. А. Михайловой⁵.

Результаты и их обсуждение. Роль чистого пара в севооборотах связывается с оптимальными условиями окультуривания почвы: внесением органических и минеральных удобрений, известкованием, фосфоритованием, борьбой с сорной растительностью, накоплением и сохранением почвенной влаги. Недостатком чистого пара является потеря органического вещества, составляющая от 0,5 до 2 т/га на полях без растительного покрова за счёт его минерализации в процессе обработки [9].

²Куркаев В. Т. Ускоренное определение азота, фосфора и калия в растениях из одной навески. Почвоведение. 1959;(9):114–117.

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 352 с.

⁴Зубарев Ю. Н., Елисеев С. Л., Васильев А. А., Галкин В. Д., Чесноков А. В., Калинин С. О. Агро- и зооэнергетическая оценка технологий и операций в сельскохозяйственном производстве Предуралья. Пермь, 2001. 113 с.

⁵Воспроизводство и оптимизация плодородия почв при возделывании с. х. культур в севооборотах и вывозных полях: методическое пособие. Сост. Т. А. Кротких, Л. А. Михайлова. Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009. 24 с.

Ранее проведёнными исследованиями [10, 11] в условиях Среднего Предуралья установлено, что внесение в поле с чистым паром 42–49 т/га навоза обеспечивает бездефицитный баланс гумуса и поступление азота от 162,0 до 198,4 кг на гектар.

По нашим расчетам, за две ротации севооборота с 2009 по 2022 год (14 лет) количество новообразованного органического вещества при внесении навоза в паровое поле контрольного севооборота составило 3215 кг/га на фоне без внесения минеральных удобрений и 3656 кг/га по фону NPK, или 459–522 кг/га в год соответственно. Систематическое внесение навоза в паровое поле способствовало повышению содержания гумуса на 0,19 абс.%, а при дополнительном использовании минеральных удобрений под культуры севооборота – на 0,69 абс.% (табл. 1.). Как отмечает ряд авторов, одним из основных преимуществ совместного внесения органических и минеральных удобрений является усиление процесса гумификации в почве [12, 13].

Перспективным и дешёвым способом окультуривания почв на участках, отдалённых от ферм и мест хранения ППЖ, должна стать

запашка зелёной массы бобовых культур, использование их симбиотической деятельности как «даровой силы природы» в интенсификационных процессах земледелия [14].

Использование биомассы клевера 1 г. п. на сидерат способствовало увеличению содержания гумуса в почве за две ротации севооборота (2009–2022 гг.) на 0,38–0,52 абс.% при максимальном приросте к исходному содержанию на фоне без внесения минеральных удобрений. Возделывание донника жёлтого, как сидеральной культуры, не привело к увеличению содержания гумуса (-0,33 и -0,57 абс.%), что объясняется низкой продуктивностью его вегетативной массы.

Отчуждение биомассы клевера 1 г. п. в занятом пару способствовало незначительному снижению содержания гумуса в почве на 0,07 абс.% на фоне внесения минеральных удобрений. В свою очередь, возделывание в занятом пару донника жёлтого за две ротации севооборота (2009–2022 гг.) привело к более заметному снижению содержания гумуса на 0,77 абс.% без минеральных удобрений и 0,84 абс.% при внесении NPK (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние парозанимающих культур, органических и минеральных удобрений на изменение содержания гумуса в почве за две ротации севооборота /

Table 1 – The effect of fallow-raising crops, organic and mineral fertilizers on changes in the humus content in the soil during two rotations of crop rotation

Вид пара в севообороте / Type of fallow in crop rotation	Фон питания / Background of nutrition	Содержание гумуса, % / Humus content, %		Изменение содержания гумуса, ± / Changes in humus content, ±
		в начале V ротации (2009 г.) / at the beginning of the V rotation (2009)	в конце VI ротации (2022 г.) / at the end of the VI rotation (2022)	
Чистый пар + навоз / «Black» fallow + manure	0	2,04	2,23	0,19
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	2,08	2,77	0,69
Занятый пар – клевер 1 г. п. / Sown fallow – clover first-cut	0	2,18	2,03	-0,15
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,97	1,90	-0,07
Сидеральный пар – клевер 1 г. п. / Green manured fallow – clover first-cut	0	1,51	2,03	0,52
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,60	1,98	0,38
Занятый пар – донник 1 г. п. / Sown fallow – melilot first-cut	0	2,27	1,50	-0,77
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	2,46	1,62	-0,84
Сидеральный пар – донник 1 г. п. / Green manured fallow – melilot first-cut	0	2,23	1,90	-0,33
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	2,66	2,09	-0,57

Результаты наших исследований показали, что с многолетними бобовыми травами в занятых и сидеральных парах поступает органическое вещество, различное по массе и

химическому составу. Так, например, в занятых парах масса корневых и поукосных растительных остатков клевера лугового и донника жёлтого, в зависимости от фона питания, достигает

4,08–4,36 т/га, обеспечивает поступление 41,8–46,9 кг/га азота, 16,7–18,6 кг/га фосфора и 42,7–69,6 кг/га калия. В сидеральных парах за счет неотчуждаемой растительной массы в почву поступает существенно больше биомассы как клевера (6,99–9,04 т/га), так и донника (6,83–8,53 т/га), что влечет за собой увели-

ченное поступление азота 133,5–148,1 кг/га, фосфора 34,3–41,2 и калия 121,2–148,9 кг/га (табл. 2). Сравнивая сидеральные культуры, предпочтение стоит отдавать клеверу – культуре, способной продуцировать большую биомассу по сравнению с донником (на 0,34 т/га в среднем по вариантам).

Таблица 2 – Поступление сухого вещества и питательных элементов с биомассой многолетних трав (в среднем за V и VI ротации) /

Table 2 – The supply of dry matter and nutrients from the biomass of perennial grasses (on average for V and VI rotations)

Культура / Crop	Фон питания / Background of nutrition	Поступило с культурой / It entered with crop			
		биомассы, т/га сухого вещества / total biomass, t/ha of dry matter	питательных элементов, кг/га / nutrients, kg/ha		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Занятый пар (поукосные и корневые остатки) / Sown fallow (leftover and root residues)					
Клевер / Clover	0	4,17	45,0	16,7	44,2
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	4,08	46,9	17,5	63,2
Донник / Melilot	0	4,32	41,9	18,6	42,7
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	4,36	41,8	17,4	69,6
Сидеральный пар (вся биомасса) / Green manured fallow (all biomass)					
Клевер / Clover	0	6,99	141,6	38,5	121,8
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	9,04	129,6	36,7	129,6
Донник / Melilot	0	6,83	148,1	41,2	121,2
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	8,53	133,5	34,3	148,9

Таким образом, полученные данные подтверждают эффективность включения в севообороты сидерального клеверного и чистого унавоженного паров в целях сохранения и повышения содержания гумуса в почве. Дополнительного увеличения содержания гумуса можно достичь за счёт внесения полного минерального удобрения под культуры севооборотов.

Влияние различных видов паров на продуктивность изучаемых севооборотов отражено данными таблицы 3.

Анализ продуктивности севооборотов, выраженной в зерновых единицах, позволил выявить количественную сторону полученной продукции. Установлено, что использование занятых (клеверного и донникового) и сидерального (клеверного) паров приводит к существенному снижению продуктивности севооборотов (на 0,06–0,14 т/га з. ед.), за исключением варианта с сидеральным донниковым паром, где отмечено увеличение продуктивности севооборота на 0,14 т/га зерновых единиц в год по сравнению с контрольным севооборотом, где в чистом пару вносится навоз.

Дополнительное внесение минеральных удобрений (N₆₀P₃₀K₆₀) не обеспечивает существенный рост продуктивности культур, отмечается тенденция роста продуктивности на 0,08 т/га з. ед. Наибольшая продуктивность отмечена в севообороте с сидеральным донниковым паром и внесением N₆₀P₃₀K₆₀ – 2,25 т/га з. ед. в год.

Проведенный расчет энергетической эффективности выращивания культур в различных севооборотах позволил сделать вывод о высокой результативности во всех экспериментально реализованных вариантах. Так, например, коэффициент энергетической эффективности (окупаемости энергии) в вариантах, где не использовались удобрения, составил 3,63–4,48, а в случаях с применением минеральных удобрений – 2,38–3,21, что свидетельствует о высокой степени эффективности использования ресурсов. Результаты исследования доказывают, что использование минеральных удобрений не всегда является оптимальным решением, в некоторых случаях их применение может привести к снижению коэффициента энергетической эффективности.

Таблица 3 – Влияние парозанимающих культур, органических и минеральных удобрений на биоэнергетическую эффективность севооборота (в среднем за V и VI ротации) /
Table 3 – The effect of fallow-raising crops, organic and mineral fertilizers on the bioenergetic efficiency of crop rotation (on average for V and VI rotations)

Вид пара в севообороте (фактор A) / Type of fallow in crop rotation (factor A)	Фон питания (фактор B) / Background of nutrition (factor B)	Продуктивность севооборота в зерновых единицах, т/га/год / Productivity of crop turnover in grain units, t/ha/year	Энергоемкость затрат ГДж/га / En- ergy Intensity of costs GJ/ha	Энергоемкость единицы продукции, МДж/т / Energy consumption of the product unit, MJ/t	Продукция в энергетическом эквиваленте, ГДж/т / Products in energy equivalent, GJ/t	Коэффициент окупаемости энергии / Energy payback ratio
Чистый пар + навоз / «Black» fallow + manure	0	2,08	12,40	4507	51,40	3,68
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	2,11	33,14	13261	51,72	2,57
Занятый пар – клевер 1 г. п. / Sown fallow – clover first-cut	0	1,97	12,03	4588	49,25	3,76
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	2,10	33,25	12446	52,25	2,39
Сидеральный пар – клевер 1 г. п. / Green manured fallow – clover first-cut	0	1,83	11,81	5118	46,12	3,63
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	2,08	33,19	13007	51,43	2,38
Занятый пар – донник 1 г. п. / Sown fallow – melilot first-cut	0	2,00	11,92	4798	50,70	3,98
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,94	32,80	14293	48,68	2,63
Сидеральный пар – донник 1 г. п. / Green manured fallow – melilot first-cut	0	2,22	12,15	5224	56,58	4,48
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	2,25	33,19	15946	56,96	3,21
НСР ₀₅ главных эффектов / LSD ₀₅ of the main effects	A	0,65	0,99	3622	16,04	1,05
	B	0,20	0,30	3050	5,15	0,35
НСР ₀₅ частных различий / LSD ₀₅ of particular differences	A	0,92	1,40	5123	22,68	1,48
	B	0,44	0,67	6820	11,52	0,78

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что в условиях Среднего Предуралья использование парозернотравяных севооборотов с унавоженным чистым паром и клеверным сидеральным паром привело в течение двух ротаций к увеличению содержания гумуса в почве соответственно на 0,19–0,69 и 0,38–0,52 абс.% по сравнению с исходными значениями. Сравнивая сидеральные культуры, предпочтение стоит отдавать клеверу – культуре, способной продуцировать большую биомассу (на 0,16–0,51 т/га сухого вещества) по сравнению с донником желтым. В наших исследованиях севообороты с включением донникового сидерального пара и занятых паров с клевером и донником не привели к накоплению гумуса в почве.

Возделывание культур во всех изучаемых севооборотах было энергетически эффективным (коэффициент энергетической эффективности – 2,38...4,48), что доказывает необходимость использования паровых полей в производстве на дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья. Однако для сохранения и увеличения содержания гумуса в почве стоит соблюдать севообороты с унавоженным чистым паром, а на участках, отдалённых от мест хранения органических удобрений, – с сидеральным клеверным паром. При принятии решений, связанных с использованием минеральных удобрений и выбором оптимальных севооборотов, необходимо учитывать биоэнергетическую составляющую процесса возделывания сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Лошаков В. Г. Зеленое удобрение как фактор повышения плодородия почвы, биологизации и экологизации земледелия. *Плодородие*. 2018;(2(101)):26–29.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35176669> EDN: XRVFYL
2. Гасанова Е. С., Кожокина А. Н., Мязин Н. Г., Стекольников К. Е., Мухина С. В. Изменение содержания и строения гуминовых кислот чернозема выщелоченного под влиянием удобрений и дефеката. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2019;12(4(63)):113–122.
DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2019.4.113> EDN: SUTGZI
3. Завьялова Н. Е., Широких И. Г., Васбиева М. Т., Фомин Д. С. Влияние различных типов землепользования на прокариотные сообщества и стабилизацию органического вещества дерново-подзолистой почвы. *Почвоведение*. 2021;(2):232–239. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21020167> EDN: GVBIOS
4. Завьялова Н. Е., Фомин Д. С., Тетерлев И. С. Влияние севооборотов и бессменных посевов на агрохимические свойства и азотный режим дерново-подзолистой почвы Предуралья. *Агрохимия*. 2019;(1):5–10. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119010162> EDN: YVTROH
5. Зезин Н. Н., Намятов М. А., Постников П. А., Зубарев Ю. Н. Оценка эффективности факторов биологизации в земледелии Уральского региона. *Пермский аграрный вестник*. 2019;(1(25)):34–41.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xftlqp> EDN: XFTLQP
6. Линьков В. В. Организационно-управленческие подходы прогрессивной агрономии в направлении экономически оправданной экологизации производства растениеводческой продукции. Безопасность и качество товаров: мат-лы XIV Международ. научн.-практ. конф. Саратов: Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова, 2020. С. 142–147. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46393880> EDN: ZHKIOS
7. Койка С. А., Скорилов В. Т. Нитраты и нитриты в продукции растениеводства. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2008;(3):58–63.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=jsgset> EDN: JSGSET
8. Кирюшин В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия. *Почвоведение*. 2019;(9):1130–1139.
DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062> EDN: MUWEQK
9. Пегова Н. А. Влияние вида пара и системы обработки почвы на урожайность культур звена севооборота. *Бюллетень науки и практики*. 2018;4(11):166–173. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1488139> EDN: VMNPNK
10. Косолапова А. И., Завьялова Н. Е., Митрофанова Е. М., Васбиева М. Т., Ямалтдинова В. Р., Фомин Д. С., Тетерлев И. С. Эффективность длительного применения удобрений на дерново-подзолистых почвах Предуралья. *Агрохимия*. 2018;(2):42–55. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0002188118020047> EDN: YTEATS
11. Соснина И. Д. Влияние парозанимающих культур, севооборота и фона питания на баланс гумуса и трансформацию органического вещества в дерново-подзолистой почве Предуралья. *Аграрный вестник Урала*. 2012;(9(101)):8–9. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18893193> EDN: PXLLCR
12. Завьялова Н. Е., Косолапова А. И., Ямалтдинова В. Р. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на трансформацию органического вещества дерново-подзолистой почвы. *Агрохимия*. 2005;(6):5–10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9144073> EDN: HSCPJD
13. Ямалтдинова В. Р., Завьялова Н. Е., Фомин Д. С., Васбиева М. Т. Влияние систем удобрений на показатели плодородия дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Предуралья. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020;(1):29–32. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-1-29-32> EDN: ZSQUWL
14. Лысенкова С. А., Скируха А. Ч., Порхунцова О. А. Продуктивность сельскохозяйственных культур в полевом плодосменном севообороте. Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: мат-лы XIX Международ. научн.-практ. конф. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. С. 137–140.

References

1. Loshakov V. G. Green manure as a factor of soil fertility improving, biologization and ecologization of agriculture. *Plodorodie*. 2018;(2(101)):26–29. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35176669>
2. Gasanova E. S., Kozhokina A. N., Myazin N. G., Stekolnikov K. E., Mukhina S. V. Changes in the content and structure of humic acids in leached chernozem under the effect of fertilizers and defecate. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2019;12(4(63)):113–122. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2019.4.113>
3. Zavyalova N. E., Shirokikh I. G., Vasbieva M. T., Fomin D. S. Influence of different types of land use on the microbial communities and organic matter stabilization in soddy-podzolic soil. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2021;(2):232–239. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21020167>
4. Zavyalova N. E., Fomin D. S., Teterlev I. S. Effect of crop rotations and monoculture on agrochemical properties and nitrogen regime of sod-podzolic soil of the Cis-Ural region. *Agrokhimiya*. 2019;(1):5–10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119010162>

5. Zezin N. N., Namyatov M. A., Postnikov P. A., Zubarev Yu. N. Evaluation of the effectiveness of biological factors in agriculture of the Ural region. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2019;(1(25)):34–41. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xftlqp>
6. Linkov V. V. Organizational and managerial approaches of progressive agronomy in the direction of economically justified greening of crop production. Safety and quality of goods: International standards. scientific-practical conf. Saratov: *Saratovskiy GAU im. N. I. Vavilova*, 2020. С. 142–147. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46393880>
7. Kojka S. A., Skorikov V. T. Nitrates and nitrites in production vegetative. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2008;(3):58–63. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=jsgset>
8. Kiryushin V. I. The management of soil fertility and productivity of agrocenoses in adaptive-landscape farming systems. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2019;(9):1130–1139. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062>
9. Pegova N. A. Effect of fallow and system of tillage on crop yield of element of crop rotation. *Byulleten' nauki i praktiki* = Bulletin of Science and Practice. 2018;4(11):166–173. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1488139>
10. Kosolapova A. I., Zavyalova N. E., Mitrofanova E. M., Vasbieva M. T., Yamaltdinova V. R., Fomin D. S., Teterlev I. S. Efficiency of long-term fertilization on the sod-podzolic soils of Cis-Ural region. *Agrokhimiya*. 2018;(2):42–55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0002188118020047>
11. Sosnina I. D. Influence of break crops, crop rotation and nutrient status on humus balans and organic matter transformation in the sod podzol soil of the Cis-Ural region. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2012;(9(101)):8–9. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18893193>
12. Zavyalova N. E., Kosolapova A. I., Yamaltdinova V. R. Effect of the long-term application of organic and mineral fertilizers on the transformation of organic matter in soddy-podzolic soil. *Agrokhimiya*. 2005;(6):5–10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9144073>
13. Yamaltdinova V. R., Zavyalova N. E., Fomin D. S., Vasbieva M. T. Influence of fertilizer systems on fertility indicators of sod-podzolic heavy loamy soil of Pre-Urals. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2020;(1):29–32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-1-29-32>
14. Lysenkova S. A., Skirukha A. Ch., Porkhunsova O. A. Productivity of agricultural crops in the field fruit-bearing crop rotation. Technological aspects of crop cultivation: the materials of the XIX International. scientific-practical conf. Gorki: *Belorusskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya*, 2022. pp. 137–140.

Сведения об авторах

Фомин Денис Станиславович, кандидат с.-х. наук, зав. лабораторией прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8261-7191>

✉ **Полякова София Сергеевна**, младший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8639-4060>, email: ss.polyakova@yandex.ru

Фомин Дмитрий Станиславович, младший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0718-7632>

Information about the authors

Denis S. Fomin, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8261-7191>

✉ **Sofia S. Polyakova**, junior researcher, the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8639-4060>, email: ss.polyakova@yandex.ru

Dmitry S. Fomin, junior researcher at the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0718-7632>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.216-226>

УДК 633.853.494:631.861:631.445.25



Влияние птичьего помета на урожайность и структуру урожая ярового рапса

© 2024. Е. Н. Володина✉, В. И. Титова, Д. А. Кириллова

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет»,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Исследования проведены с целью выявления оптимальной дозы подстилочного сыпучего птичьего помета по влиянию на элементы структуры урожая и урожайность семян ярового рапса сорта Лунеди. Работа выполнена в 2022-2023 гг. в условиях лесостепной зоны Нижегородской области. Птичий помет сыпучий (ГОСТ 31461-2012) вносили в дозах 4, 6 и 8 т/га (контроль – без удобрений). Опыт заложен на светло-серой лесной легкосуглинистой почве с низким содержанием гумуса, нейтральной реакцией среды, высокой степенью обеспеченности подвижными формами фосфора и калия. На удобренных вариантах выявлено статистически доказуемое изменение элементов структуры урожая рапса: прирост длины плода (стручка) составил 0,40–0,67 см, массы стручка – 0,04–0,12 г, число стручков с одного растения увеличилось в 1,4–2,1 раза, число семян в стручке – на 2,5–4,6 шт., семенная продуктивность единичного растения повысилась в 1,9–3,0 раза, масса 1000 семян – на 0,66–0,94 г. При внесении птичьего помета во всех вариантах выявлено достоверное увеличение урожайности надземной фитомассы и семян, прибавка биомассы рапса составила 6,03–8,70 т/га ($HSP_{05} = 1,30$), семян – 0,94–1,26 т/га ($HSP_{05} = 0,46$). Максимальная прибавка биомассы рапса и семян (6,03 и 0,94 т/га) установлена в варианте с дозой помета 4 т/га, так как при увеличении дозы помета до 6 и 8 т/га дополнительно к минимальной дозе было получено 1,42–2,67 т/га биомассы растений и 0,22–0,32 т/га семян. Полученные результаты позволяют утверждать, что оптимальной дозой внесения птичьего помета под яровый рапс на светло-серой лесной почве является 4 т/га.

Ключевые слова: дозы, урожайность семян, *Brassica napus* L., светло-серая лесная почва

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (тема НИР в ЕГИСУ НИОКТР №122032900168-8 и №1022041100063-4-4.1.1).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: 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;25(2):216–226.
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.216-226>

Поступила: 07.03.2024

Принята к публикации: 09.04.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

The influence of poultry manure on the yield and crop structure of spring rapeseed

© 2024. Evgenia N. Volodina✉, Vera I. Titova, Daria A. Kirillova

Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

The research was carried out to identify the optimal dose of bedding bulk poultry manure on the influence of the crop structure and the yield of spring rape seeds of Lunedi variety. The work was carried out in 2022-2023 in the forest-steppe zone of the Nizhny Novgorod region. Poultry manure loose (GOST 31461-2012) was applied in doses of 4, 6 and 8 t/ha (control - without fertilizers). The experiment was conducted on light gray forest loamy soil with low humus content, neutral reaction and mobile forms of phosphorus and potassium. Statistically proven changes in the structure of rape yield were noticed on the manured variants: the increase in length of the fruit (pod) was 0.40–0.67 cm, in pod weight – 0.04–0.12 g, the number of pods per plant increased by 1.4–2.1 times, the number of seeds in a pod increased by 2.5–4.6 seeds, seed productivity of a single plant increased by 1.9–3.0 times, the weight of 1000 seeds exceeded by 0.66–0.94 g. The application of poultry manure on all variants revealed a reliable increase in the yield of above-ground phytomass and seeds, the increase in rape biomass was 6.03–8.70 t/ha ($LSD_{05} = 1.30$), seeds – 0.94–1.26 t/ha ($LSD_{05} = 0.46$). The maximum increase in the biomass of rapeseed and seeds (6.03 and 0.94 t/ha) was established in the variant with a manure dose of 4 t/ha, since with an increase in the manure dose (6 and 8 t/ha) in excess of the minimum increase by 1.42–2.67 t/ha of plant biomass and 0.22–0.32 t/ha of seeds. The obtained results suggest that the optimum dose of poultry manure application to spring rapeseed on light grey forest soil (Alfisol) is 4 t/ha.

Keywords: doses, seed yield, *Brassica napus* L., light gray forest soil

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (research topic in the EGISU R&D No. 122032900168-8 and No. 1022041100063-4-4.1.1).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest

For citation: Volodina E. N., Titova V. I., Kirillova D. A. The influence of poultry manure on the yield and crop structure of spring rapeseed. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):216–226. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.216-226>

Received: 07.03.2024

Accepted for publication: 09.04.2024

Published online: 24.04.2024

В связи с необходимостью обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации и в соответствии со Стратегией повышения качества пищевой продукции до 2030 года¹ перед сельским хозяйством поставлены приоритетные задачи, в том числе по увеличению объемов производства масличных культур [1]. Одной из таких культур, возделывание которой стало весьма перспективным направлением, является яровой рапс. Благодаря своей многофункциональности – использование рапса при производстве биотоплива и пищевых масел, кормов для животных – ежегодно в структуре севооборотов наблюдается увеличение посевных площадей культуры [2, 3].

Длительное время в нашей стране рапс возделывался в регионах Сибири, где наиболее оптимальные условия для его выращивания, но из-за высокого спроса на эту культуру отмечается рост посевных площадей и в Центральной части России. Согласно данным сайта Федеральной службы государственной статистики, в Нижегородской области в 2022 году посевные площади, занятые рапсом, достигли 15,8 тыс. га, составив 25,4 % в структуре посевных площадей технических культур².

Несмотря на то, что рапс является высококорентабельной культурой, и многие агропредприятия включают его в структуру севооборотов, необходимо четко понимать, что эта культура сложна в возделывании, выносит много питательных веществ из почвы и очень требовательна к плодородию. В этой связи объясним интерес к введению в систему удобрения этой культуры не только минеральных, но и органических удобрений.

Отходы птицеводства являются ценным органическим удобрением, применение которого оказывает комплексное действие на почву и растительную продукцию³ [4, 5]. Птичий помет характеризуется максимально высоким содержанием питательных веществ относительно других видов органических удобрений

[6, 7]. Исходя из этого, целесообразность внесения отходов птицеводства в качестве органического удобрения не вызывает сомнения. Однако, стремясь к достижению агрономического эффекта от их применения, необходимо исключить возможность его негативного воздействия на окружающую среду [8, 9]. Поэтому особенно важным является использование органосодержащих отходов в качестве органических удобрений в зоне локализации крупных птицеводческих предприятий, так как биологизация агротехнологий является одной из составляющих устойчивого развития агропромышленного комплекса при переходе к высокопродуктивному и экологически чистому сельскому хозяйству.

Цель исследования – изучить влияние разных доз подстилочного сыпучего птичьего помета на урожайность ярового рапса, элементы структуры урожая и выявить оптимальные.

Новизна исследований – впервые в условиях Нижегородской области на светло-серых лесных легкосуглинистых почвах проведена оценка влияния разных доз подстилочного птичьего помета на урожайность и структуру урожая ярового рапса.

Материал и методы. Мелкоделяночный полевой опыт по применению различных доз птичьего помета в посевах ярового рапса был заложен в 2022 и 2023 гг. на территории экспериментальной площадки кафедры «Агрохимия и агроэкология» ФГБОУ ВО Нижегородский ГАТУ. Объект исследования – яровой рапс сорта Лунеди. Почва опытного участка – светло-серая лесная легкосуглинистая со следующей агрохимической характеристикой: pH – 6,5-6,6 (определяли потенциометрическим методом ГОСТ 26483-85⁵), содержание гумуса в почве – 1,23–1,73 % (по методу И. В. Тюрина в модификации Б. А. Никитина⁴), подвижных форм фосфора и калия – 388–384 и 190–248 мг/кг почвы соответственно (по методу Кирсанова, ГОСТ Р 54650-2011⁶), степень насыщенности

¹Распоряжение Правительства РФ от 29.06.2016 N 1364-р «Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года». [Электронный ресурс].

URL: <http://static.government.ru/media/files/9JUDtBOPqmoAatAhvT2wJ8UPT5Wq8qlo.pdf> (дата обращения: 26.02.2024).

²Посевные площади Российской Федерации в 2022 году. [Электронный ресурс].

URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Posev_2022.xlsx (дата обращения: 01.03.2024).

³Титова В. И. Агрохимия – 2021: учебное пособие. Н. Новгород: Нижегородская ГСХА, 2021. 208 с.

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47208549> EDN: LNJTAL

⁴Никитин Б. А. Методика определения содержания гумуса в почве. Агрохимия. 1972;(3):123–125.

⁵ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 4 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

⁶ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf>

основаниями составляет 96 % (расчетным методом⁷, ГОСТ 27593-88⁸).

В опыте использовали птичий помёт, полученный при напольном содержании кур на опилках, после 3–6-месячного выдерживания в хранилище одной из крупных птицефабрик Нижегородской области. Помет содержит N 3,6 %, P₂O₅ – 4,3 %, K₂O – 3,9 % в расчете на сухое вещество, массовая доля влаги в помете – 56,5 %. Согласно ГОСТ 31461-2012⁹, такой помет классифицируется как подстилочный сыпучий, который в дальнейшем обозначен нами как ПП-С.

Содержание азота в помете определяли по ГОСТ 26715-85 п.1¹⁰, фосфора – ГОСТ 26717-85¹¹, калия – ГОСТ 26718-85¹², влаги – ГОСТ 26713-85¹³.

Опыт заложен в 3-кратной повторности по следующей схеме:

1. Контроль без внесения удобрений.
 2. Птичий помет, 4 т/га (ПП-С-4).
 3. Птичий помет, 6 т/га (ПП-С-6).
 4. Птичий помет, 8 т/га (ПП-С-8).
- Площадь делянки составила 1,5 м².

Удобрения вносили весной до посева рапса, вручную, с последующей заделкой на глубину 12–15 см. Предшествующая культура – яровая пшеница.

Сев рапса в 2022 году проводили в середине второй декады мая, в 2023 году – на неделю позднее (в начале третьей декады) на глубину 2 см с междурядьем 15 см и нормой высева 7 кг/га.

В целом погодные условия 2022 года сложились неустойчивыми на протяжении всего вегетационного периода – в мае и июне температура воздуха была несколько ниже среднеемноголетних значений, в июле отмечено рекордное количество осадков при весьма

теплой погоде, август – теплый и сухой (рис. 1). Весенне-летний период 2023 года был преимущественно теплым, за исключением прохладного июня, количество осадков во все периоды выпало меньше среднеемноголетних значений, кроме июля (более 120 мм).

Яровой рапс весьма требователен к наличию влаги в почве, поэтому различия по количеству осадков в фазы «прорастание» и «бутонизация» (май-июнь 2022-2023 гг.) отразились в дальнейшем на прохождении фаз роста и развития культуры в опыте. В июле-начале августа 2022 года гидротермические условия в фазы «цветение» и «налив семян» ярового рапса были более оптимальными в сравнении с 2023 годом, так как в этот период весьма важным является достаточное количество влаги при температуре 23–25 °С.

Урожай рапса ярового убирали в августе вручную при благоприятных погодных условиях: в 2022 году – в середине второй декады, в 2023 году – в начале третьей декады. Опыт проводили в соответствии с методическими указаниями Б. А. Доспехова¹⁴, анализ структуры урожая рапса выполнен по методике государственного сортоиспытания¹⁵, результаты исследований статистически обработали методом дисперсионного анализа с использованием компьютерной программы MS Excel. Результаты изучения считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение. Основная цель данного опыта – изучение влияния сыпучего птичьего помета на формирование семян рапса. Так как плоды (стручки) являются важным элементом производственного процесса, оценили воздействие различных доз помета на изменение их длины и массы (рис. 2).

⁷Практикум по агрохимии: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Под ред. академика РАСХН В. Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.

⁸ГОСТ 27593-88. Почвы. Термины и определения. М.: Государственный комитет СССР по стандартам 2008. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/22/2224.pdf>

⁹ГОСТ 31461-2012. Помет птицы. Сырье для производства органических удобрений. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2020 8 с. URL: https://rshn32.ru/files/npa/GOST_31461-2012_pomet.pdf

¹⁰ГОСТ 26715-85. Удобрения органические. Методы определения общего азота. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 12 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/30a/4294827739.pdf>

¹¹ГОСТ 26717-85. Удобрения органические. Методы определения общего фосфора. М.: Государственный комитет СССР по стандартам 1986. 6 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/1/4294827/4294827737.pdf>

¹²ГОСТ 26718-85. Удобрения органические. Методы определения общего калия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 4 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/1/4294827/4294827736.pdf>

¹³ГОСТ 26713-85. Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 6 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/1/4294827/4294827736.pdf>

¹⁴Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

¹⁵Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989. С.194.

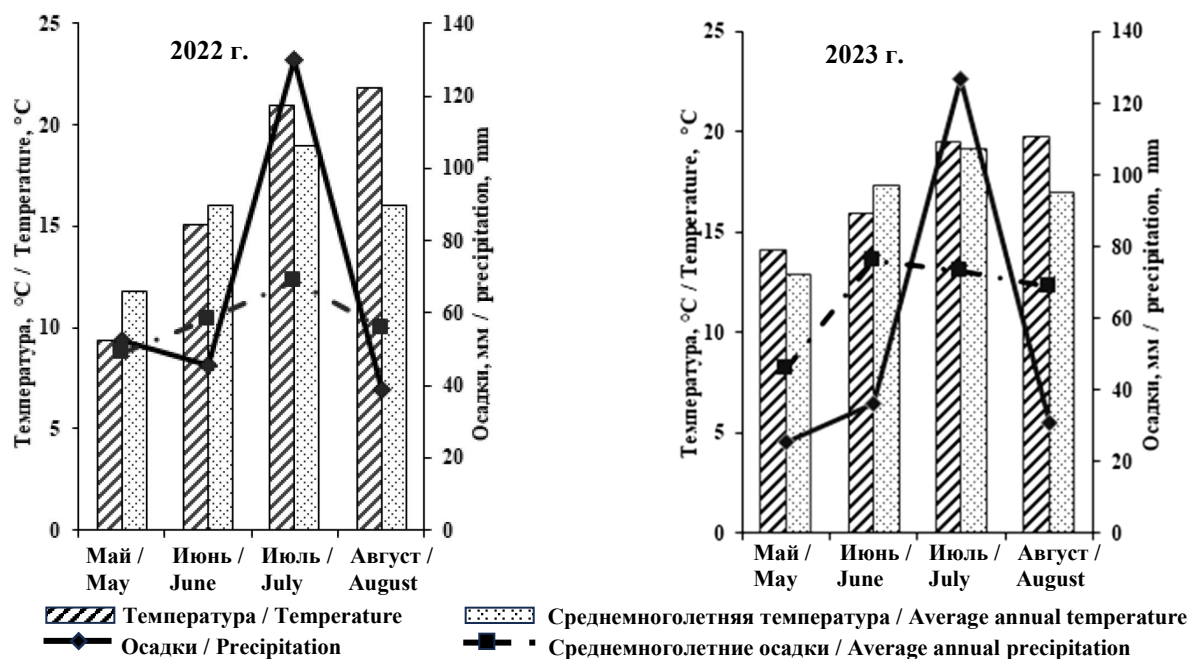


Рис. 1. Метеоусловия в период проведения исследований /
Fig. 1. Meteorological conditions during the research period

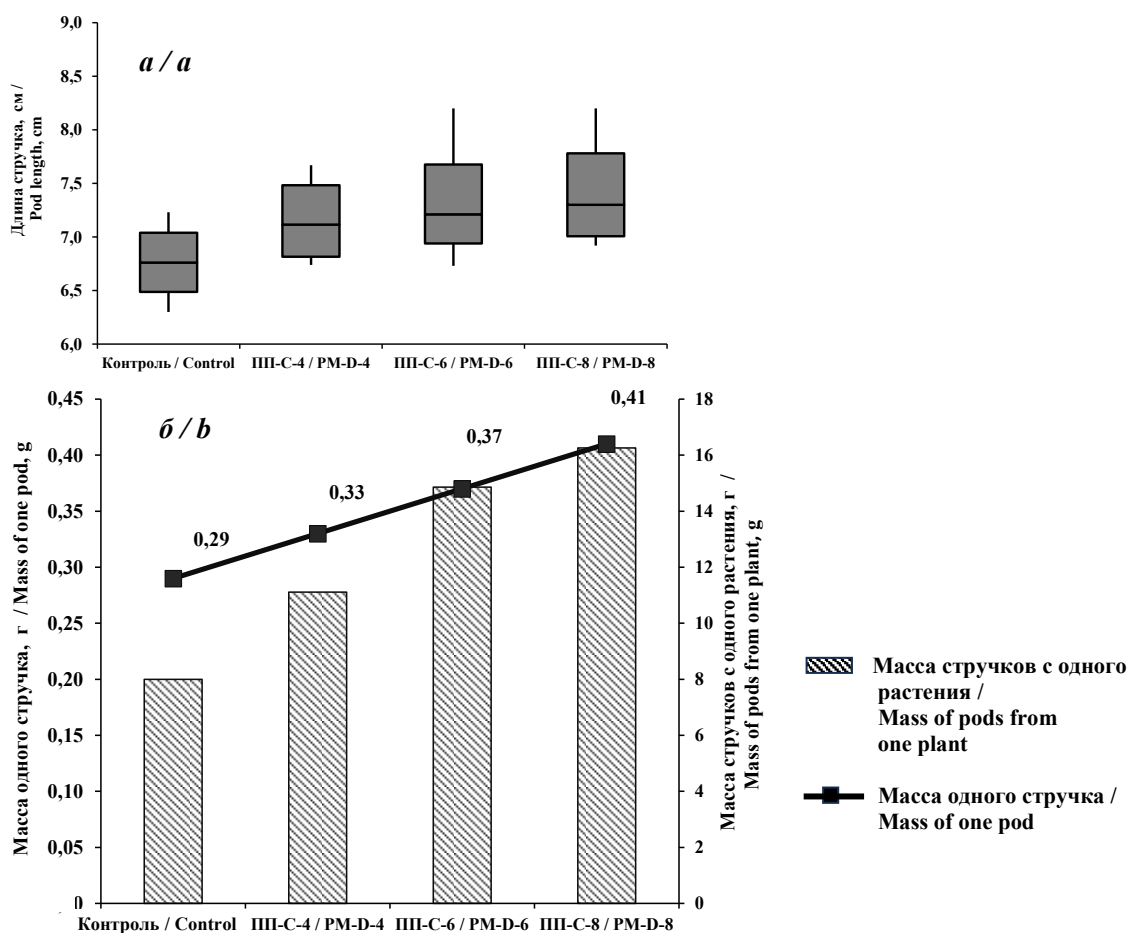


Рис. 2. Влияние разных доз птичьего помета сыпучего на морфологические показатели стручка ярового рапса сорта Лунеди: а – длина стручка ($HCP_{05} = 0,25$); б – масса одного стручка ($HCP_{05} = 0,04$), масса стручков с одного растения ($HCP_{05} = 1,71$) (в среднем за 2022-2023 гг.) /

Fig.2. The influence of different doses of poultry manure loose on the morphological parameters of the Lunedi spring rape pod: a – pod length ($LSD_{05} = 0.25$); b – mass of one pod ($LSD_{05} = 0.04$), mass of pods from one plant ($LSD_{05} = 1.71$) (on average for 2022-2023)

Считается, что наибольшее действие на семенную продуктивность оказывают такие элементы структуры урожая, как число стручков на растении и обсемененность стручка [10]. Вместе с тем, число семян в стручке достаточно тесно связано с его длиной, что подтверждается выявленной сильной корреляционной связью в наших исследованиях ($r = 0,80$). Положительное действие на увеличение длины стручка рапса прослеживается при всех дозах помета, дающих достоверную прибавку на 5,9–9,9 % по сравнению с неудобренным вариантом (6,30–7,23 см).

Различия между полуторакратным и двукратным увеличением дозы птичьего помета не выявлены, так как среднее медианное значение длины стручка рапса в этих вариантах находится в диапазоне 7,1–7,3 см, но отдельные экземпляры достигают длины более 8 см.

Качественно сходное влияние оказывают дозы помета на формирование таких элементов

структуры урожая, как масса одного стручка и масса всех стручков с одного растения рапса, так как стручок должен обладать достаточным объемом и весом.

Во всех удобренных вариантах получена существенная прибавка по показателю «масса одного стручка» – 13,8–41,4 % и всех стручков с одного растения рапса – 38,9–203,3 % в сравнении с неудобренным контролем. Достоверное преимущество по показателю «общая масса стручков» отмечено при внесении помета в количестве 6 т/га, что позволило дополнительно получить 3,75 г стручков с одного растения, тогда как при двукратном увеличении дозы помета (8 т/га) наблюдалась лишь тенденция к приросту массы с одного растения (1,40 г/растение).

Не менее важным показателем является «количество стручков на растении» (рис. 3), на который внесение удобрений оказывает заметное влияние.

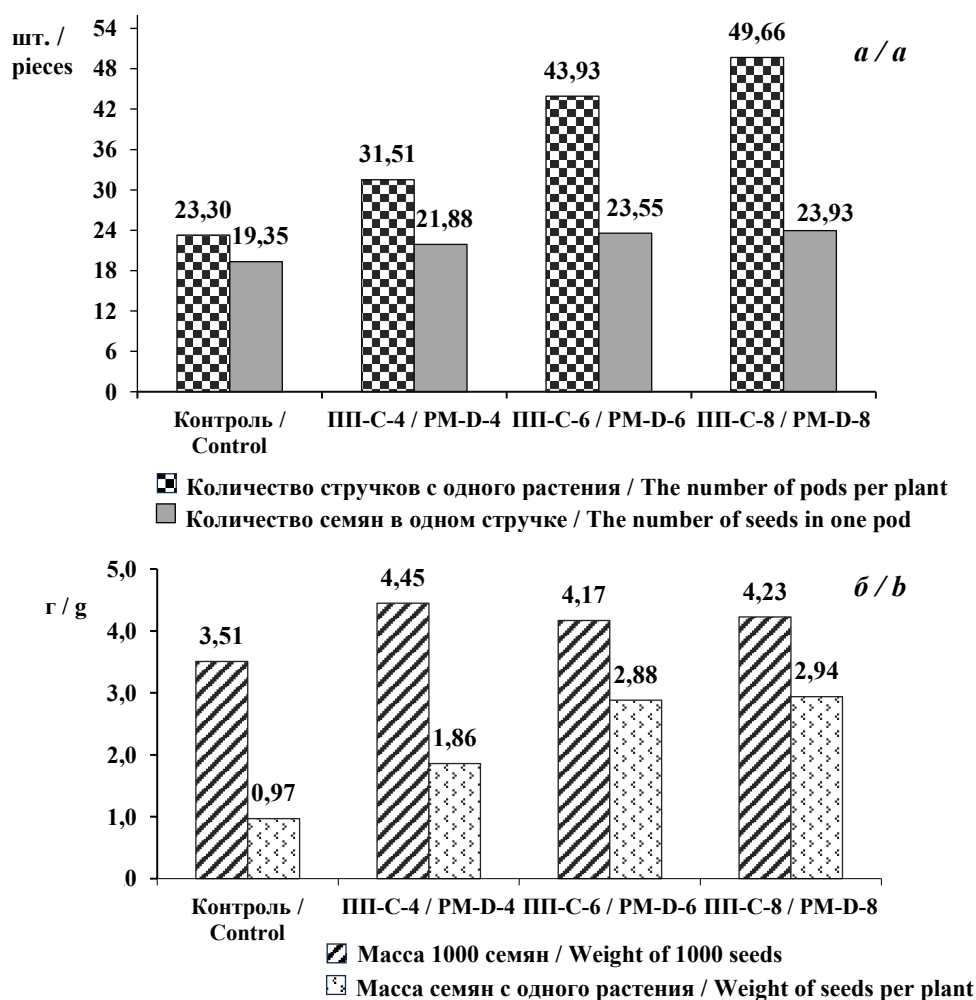


Рис. 3. Влияние разных доз птичьего помета сыпучего на структуру семян ярового рапса сорта Лунеди: а – количество стручков с одного растения ($HCP_{05} = 6,94$), количество семян в одном стручке ($HCP_{05} = 1,42$); б – масса 1000 семян ($HCP_{05} = 0,38$), масса семян с одного растения ($HCP_{05} = 0,41$) (в среднем за 2022–2023 гг.) /

Fig.3. The influence of different doses of poultry manure loose on the structure of Lunedi spring rape seeds: а – the number of pods per plant ($LSD_{05} = 6.94$), the number of seeds in one pod ($LSD_{05} = 1.42$); б – weight of 1000 seeds ($HCP_{05} = 0.38$), weight of seeds per plant ($LSD_{05} = 0.41$) (on average for 2022–2023)

Установлено, что при возделывании ярового рапса на неудобренной светло-серой лесной почве в среднем на растении формируется 23,30 стручка, а при внесении питательных элементов в почву с пометом их число существенно увеличивается (на 35,2–213,1 %), достоверно повышаясь при каждом последующем увеличении дозы помета. Схожие в целом закономерности отмечены в действии помета на обсемененность стручка рапса. Количество семян в стручке варьирует от 19,4 до 23,9 штук и при увеличении дозы внесения помета достоверно повышается на 13,1–23,7 % относительно контроля. Наиболее эффективным является внесение удобрений в дозах 6 и 8 т/га, так как позволяет дополнительно увеличить озерненность плода на 4,2 и 4,6 штук семян.

Семенная продуктивность единичного растения зависит не только от количества семян на одном растении, но и от массы семян с одного стручка, так как это свидетельствует об их полновесности и крупности, и, следовательно, влияет на посевные качества. Внесение птичьего помета позволило достоверно повысить средний сбор семян с одного растения в 1,9–3,0 раза. При этом нельзя не отметить, что увеличение дозы помета с 6 до 8 т/га не способствовало дальнейшему росту показателя – прибавка составила менее 2 %.

Одним из важнейших элементов продуктивности является «масса 1000 семян» – определяющий показатель их выполненности. Исследованиями 2022–2023 гг. установлено, что при возделывании ярового рапса на неудобренной светло-серой лесной почве масса 1000 семян составила в среднем 3,5 г, что на 5,1 % ниже значения, заявленного в описании характеристики сорта Лунеди (3,7 г). Во всех вариантах, где вносили помет, однозначно отмечается достоверное увеличение этого показателя в 1,2–1,3 раза, превышение значений морфологической характеристики сорта составило 12,7–20,3 %.

Максимальная масса 1000 семян получена при внесении 4 т/га помета – 4,45 г, с увеличением дозы она снижается на 6,3–4,9 %, что обусловлено значительной вариабельностью показателя по годам исследований в этом варианте (в 2022 г. – 4,9 г; в 2023 г. – 4,0 г). В остальных вариантах масса 1000 семян демонстрирует качественно сходные значения во все периоды.

Двухлетние исследования показали, что минимальная урожайность общей надземной биомассы получена на неудобренной светло-серой лесной почве – 9,86 т/га. Внесение помета в разных дозах способствовало достоверному увеличению данного показателя (в 1,6–1,9 раза), но максимальный эффект отмечен при минимальной дозе, где прирост биомассы составил 6,03 т/га (рис. 4). При увеличении дозы помета до 6 т/га урожайность биомассы рапса также достоверно возросла, но не столь эффективно, так как дополнительное внесение 2 тонн позволило получить чуть более 1,4 т/га, что в 4,2 раза меньше прибавки, полученной в варианте с дозой внесения 4 т/га. При максимально высокой дозе внесения птичьего помета (8 т/га), в сравнении с дозой 6 т/га, прибавка была незначительной (12,5 %).

Урожайность биомассы растений ярового рапса в 2022 году была значительно выше во всех вариантах – на 15,9–30,4 %, что обусловлено наиболее оптимальными погодными условиями. С увеличением дозы помета различия в урожайности биомассы, полученной в 2022 и 2023 гг., менее существенные (25,4–15,9 %) относительно контроля. Вероятнее всего, наличие большего количества питательных веществ в почве удобренных вариантов позволило нивелировать расход влаги при ее недостатке на синтез сухого вещества растений ярового рапса в 2023 году.

Изменение урожайности семян рапса имеет сходную картину с урожайностью общей биомассы – повышается с увеличением дозы помета относительно контроля в 2,0–2,3 раза. В варианте без внесения удобрений получили минимальный урожай семян (0,98 т/га), что, согласно данным Росстата, на 36 % ниже средней урожайности, полученной в условиях Нижегородской области в 2022 году¹⁶.

Следовательно, возделывание ярового рапса без применения удобрений, только за счет почвенного плодородия светло-серых лесных почв, весьма неэффективно. Исследованиями 2022–2023 гг. установлено увеличение урожайности семян практически в 2 раза при внесении минимальной дозы сухого помета (4 т/га), а дополнительное внесение доступных питательных элементов в почву с 6 и 8 т/га помета не оказало существенного влияния, так как прибавка между удобренными вариантами незначительна (0,22–0,32 т/га).

¹⁶Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2022 году (предварительные данные). [Электронный ресурс].

URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/29_cx_predv_2022.xlsx (дата обращения: 01.03.2024)

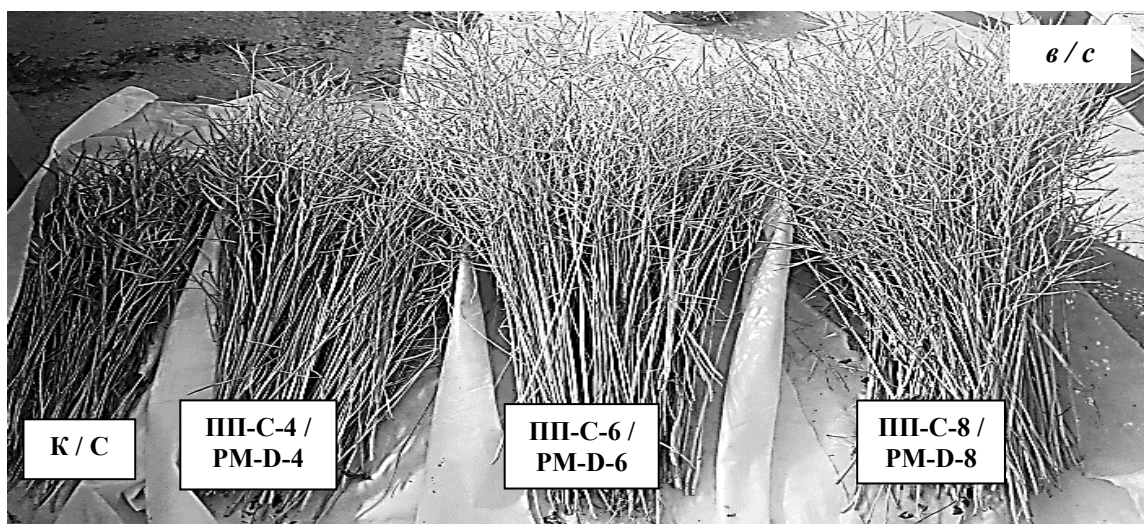
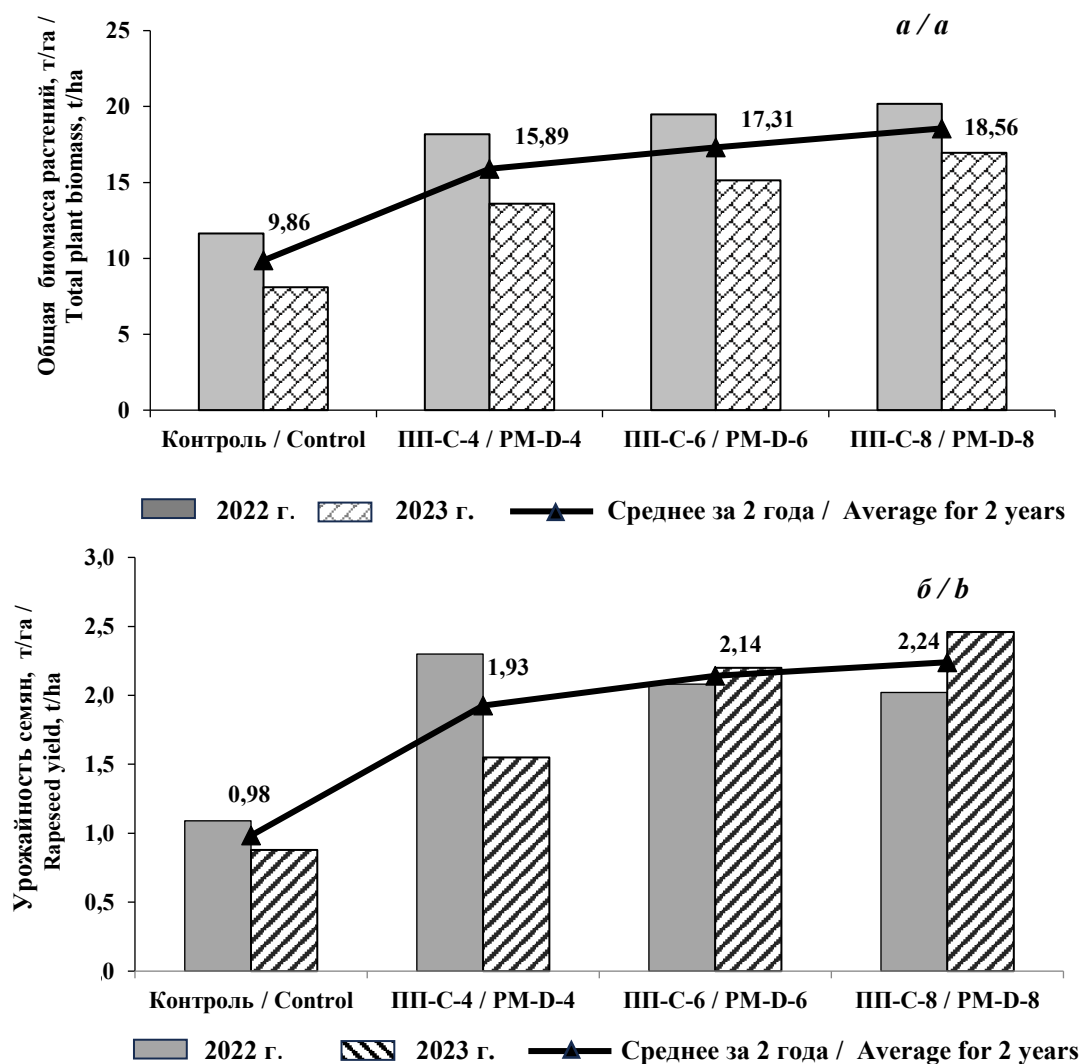


Рис. 4. Влияние разных доз птичьего помета сыпучего на урожайность надземной биомассы и семян рапса сорта Лунеди: а – общая биомасса растений ($НСР_{05}=3,09$ (2022 г.), $0,53$ (2023 г.)), т/га; б – урожайность семян рапса ($НСР_{05}=0,58$ (2022 г.), $0,52$ (2023 г.)), т/га; в – внешний вид биомассы рапса на день уборки в 2023 году /

Fig. 4. The influence of different doses of poultry manure loose on the productivity of above-ground biomass and of Lunedi rape seeds in the experiment: а – total plant biomass ($LSD_{05}=3.09$ (2022 year), 0.53 (2023 year)), t/ha; б – rapeseed yield ($LSD_{05}=0.58$ (2022 year), 0.52 (2023 year)), t/ha; в – rapeseed biomass on harvest day in 2023

Необходимо отметить, что максимальный урожай семян рапса в 2022 году получили при внесении минимальной дозы помета (4 т/га) – 2,3 т/га, при этом дополнительное внесение питательных веществ в почву (6 и 8 т/га) не оказало положительного влияния на синтез семян. Можно предположить, что наиболее оптимальные гидротермические условия этого периода и наличие большого количества питательных веществ в почве стимулировали рост вегетативной массы растений, замедляя при этом процесс дифференцировки и формирования цветков, снижая тем самым урожай семян.

Анализ урожайности 2023 года позволил установить, что продуктивность семян ярового

рапса достоверно повышалась с увеличением доз вносимых удобрений в 1,8–2,5 раза, но при этом прибавка между удобренными вариантами имела тенденцию к снижению (0,60–0,26 т/га).

Полученные результаты позволяют утверждать, что под рапс эффективно внесение помета в дозе 4 т/га, т. к. дает достоверную прибавку как по общей биомассе, так и количеству семян рапса.

Для оценки влияния вносимых доз птичьего помета на продукционный процесс определяли коэффициент хозяйственной эффективности ($K_{хоз}$), рассчитанный как отношение массы семян к общей сухой надземной биомассе в фазе «уборочная спелость» (рис. 5).

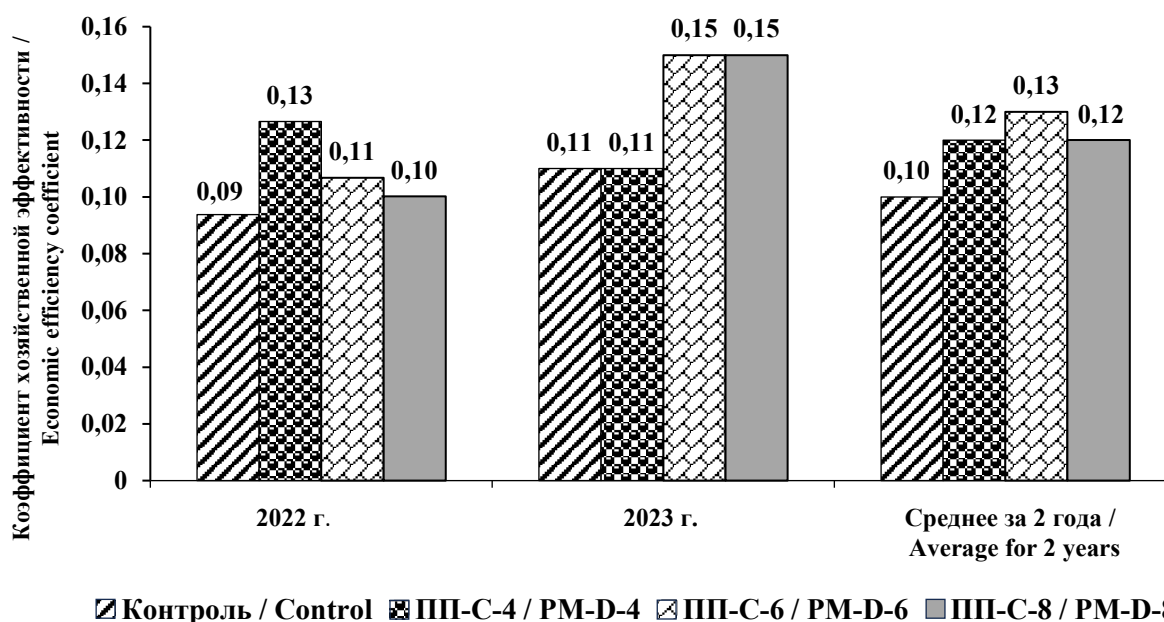


Рис. 5. Коэффициент хозяйственной эффективности возделывания рапса ярового сорта Лунеди на семена при внесении разных доз птичьего помета /

Fig. 5. Economic efficiency coefficient of cultivation of the Lunedi spring rapeseed for seeds when applying different doses of poultry manure

Коэффициент хозяйственной эффективности показывает, что соотношение массы семян и надземной биомассы у рапса весьма широко (0,09–0,15), по сравнению, например, с зерновыми культурами (пшеницей), где этот показатель в среднем составляет 0,5 [11]. Но, поскольку по данному показателю судят об эффективности аттракции пластических веществ из листьев и стеблей в семена, то можно констатировать, что внесение птичьего помета ведет к некоторому увеличению семен-

ной части в общем биологическом урожае. Следовательно, на удобренных вариантах на одну тонну семян приходится около 7 тонн соломы, в контроле это соотношение значительно больше (1:10).

Для оценки влияния некоторых элементов структуры урожая на урожайность семян рапса построили несколько моделей зависимости (рис. 6), так как исследователи неоднозначно оценивают их вклад в регуляцию семенной продуктивности¹⁷ [12].

¹⁷Никонова Г. Н. Основы формирования продуктивности и качества семян ярового рапса в лесостепи ЦЧР: автореф. дис. ... д-ра. с.-х. наук. Рамонь, 2009. 45 с.

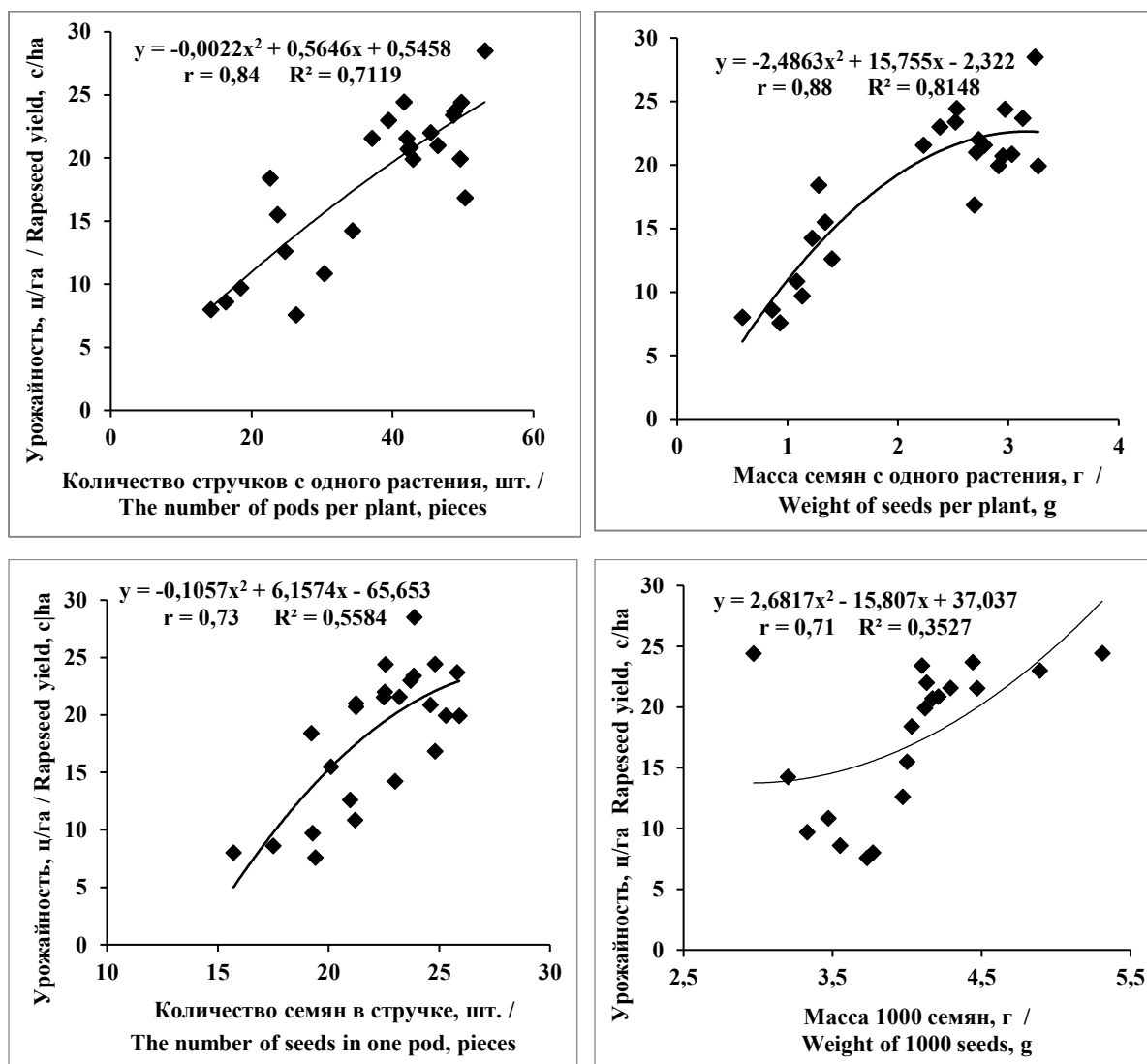


Рис. 6. Зависимость урожайности семян рапса сорта Лунеди от элементов структуры продуктивности (в среднем за 2022-2023 гг.) /

Fig. 6. Dependence of Lunedi rape seeds yield on the elements of productivity structure (average for 2022-2023)

Корреляционно-регрессионный анализ показал, что наибольший вклад в формирование урожая семян оказывает масса семян с одного растения, о чем свидетельствует высокое значение коэффициента детерминации ($R^2 = 0,81$) и наиболее тесная корреляция ($r = 0,88$), степень достоверности которой оценена путем опровержения нулевой гипотезы. Кроме того, достаточно весомый вклад (более 70 %) в формирование продуктивности культуры оказывает число стручков с одного растения, а также обсемененность стручка ($R^2 = 0,56$; $r = 0,73$), этот элемент структуры урожая считается средне-изменчивым и высоконаследуемым признаком [12]. В меньшей степени семенная продуктивность в наших исследованиях определялась массой 1000 семян.

Выводы. 1. Использование различных доз птичьего помета, полученного после хранения в лагунах в течение 3–6 месяцев (сухого помета), в качестве органического удобрения на светло-серой лесной почве в условиях Нижегородской области положительно влияет на формирование наземной биомассы (15,9–18,6 т/га) и урожайности семян ярового рапса (1,93–2,24 т/га), обеспечивая статистически значимые прибавки к контролю без удобрений. С увеличением внесения дозы помета с 4 т/га в 1,5 раза (6 т/га) и два раза (8 т/га) наблюдается тенденция снижения прибавок биомассы и семенной продуктивности в 4,2–4,8 и 4,2–9,4 раза относительно прибавок от минимальной используемой дозы (4 т/га).

2. Все испытываемые дозы птичьего помета оказали достоверное влияние на структуру товарной продукции урожая в сравнении с неудобренной почвой: количество стручков возросло в 1,4–2,1 раза, обсемененность стручка в 1,1–1,2 раза, общий сбор семян с одного растения в 1,9–3,0 раза. При увеличении доз помета с 4 т/га в 1,5 раза (6 т/га) установлена значительная прибавка количества стручков и семян в стручке (12,4 и 1,7 шт. соответственно), массы семян (1,02 г/растение), тогда как при максимально высокой испытанной дозе помета (8 т/га) наблюдалась лишь тенденция к росту элементов структуры урожая.

3. Внесение птичьего помета приводит к повышению коэффициента хозяйственной эффективности на 20–30 %, что свидетельствует об увеличении семенной части в общем биологическом урожае. В регуляции семенной продуктивности растений ведущая роль принадлежит массе семян с одного растения ($r = 0,88$), числу стручков с одного растения ($r = 0,84$) и их обсемененности ($r = 0,73$).

4. Исследованиями, проведенными в 2022–2023 гг., установлено, что наиболее оптимальной дозой под яровой рапс сорта Лунеди на светло-серой лесной почве является внесение 4 т/га птичьего помета.

Список литературы

1. Вартамова М. Л. Продовольственная безопасность страны и пути выхода из мирового продовольственного кризиса. М.: Библио-Глобус, 2016. 220 с. DOI: <https://doi.org/10.18334/9785906830944> EDN: XVMTKT
2. Черкасова Е. А., Рзаева В. В. Урожайность сортов и гибридов ярового рапса в условиях Северного Казахстана. Агропродовольственная политика России. 2021;(3):46–50. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47310469> EDN: OGVHQP
3. Черкасова Е. А., Рзаева В. В. Сравнительная продуктивность сортов и гибридов ярового рапса в условиях Северо-Казахстанской области. Аграрный научный журнал. 2021;(4):34–36. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i4pp34-36> EDN: LJSOWC
4. Сидоренко О. Д. Использование продуктов биоконверсии отходов животноводства в качестве органических удобрений (концепция). Агрохимия. 2018;(4):36–38. DOI: <https://doi.org/10.7868/S000218811804004X> EDN: YWECGJ
5. Таран Т. В., Чебыкина Е. В., Котьяк П. А., Баушева Н. П. Последствие куриного помета и органоминерального субстрата на его основе на урожай полевых культур. Вестник АПК Верхневолжья. 2021;(3(55)):12–17. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2021.55.3.002> EDN: MYXTRC
6. Титова В. И., Мартынова О. С. Помет и навоз промышленного птице- и животноводства – отход производства или органическое удобрение? Роль вузовской науки в развитии агропромышленного комплекса: сб. тр. Международ. научн.-практ. конф. Н. Новгород: ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА, 2021. С. 169–172. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=enxcde> EDN: ENXCDC
7. Chekaev N., Blinokhvatova Yu., Novichkov S. Evaluation of the nitrogen regime of chernozem leached under the action of different doses of turkey waste application. Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2022;65(1):46–50. URL: https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2022/issue_1/Art5.pdf
8. Титова В. И., Варламова Л. Д., Рыбин Р. Н., Малышева М. К. Характеристика физико-химических свойств светло-серой лесной почвы при утилизации свиного навоза. Экологический вестник Северного Кавказа. 2019;(2):14–18. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38213942> EDN: LMFCXS
9. Тарасов С. И. Актуальные вопросы охраны окружающей среды в хозяйствах индустриального животноводства. Сообщение 1. Природоохранные аспекты организации предприятий индустриального животноводства, систем удаления бесподстилочного навоза. Плодородие. 2022;(3(126)):83–86. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.126.22> EDN: HBJODM
10. Карпачев В. В. Рапс яровой. Основы селекции: монография. Липецк: ВНИПТИ рапса, 2008. 236 с.
11. Кошкин Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. М.: Дрофа, 2010. 638 с.
12. Кошкин Е. И., Вагун И. В., Воловик В. Т. Продуктивность и структура урожая ярового рапса (*Brassica Napus* L.) при моноэлементном загрязнении почв тяжелыми металлами. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012;(2):32–45. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18096442> EDN: PGACVZ

References

1. Vartanova M. L. Food safety of the state and ways to overcome the world's food crisis. Moscow: Biblio-Globus, 2016. 220 p. DOI: <https://doi.org/10.18334/9785906830944>
2. Cherkasova E. A., Rzaeva V. V. Productivity of varieties and hybrids of spring rapeseed in the conditions of northern Kazakhstan. *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii* = Agri-Food Policy in Russia. 2021;(3):46–50. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47310469>

3. Cherkasova E. A., Rzaeva V. V. The comparative productivity of spring rape varieties and hybrids in the conditions of the North Kazakhstan region. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2021;(4):34–36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i4pp34-36>
4. Sidorenko O. D. The use of the products bioconversion of animal waste as organic fertilizer (the concept). *Agrokimiya*. 2018;(4):36–38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S000218811804004X>
5. Taran T. V., Chebykina E. V., Kotyak P. A., Bausheva N. P. The afteraction of poultry litter and organo-mineral medium based on it on the field crops yield. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2021;(3(55)):12–17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2021.55.3.002>
6. Titova V. I., Martyanova O. S. Manure of industrial poultry and livestock - waste from production or organic fertilizer? The role of university science in the development of the agro-industrial complex: collection of tr. International. scientific and practical conf. N. Novgorod: *FGBOU VO Nizhegorodskaya GSKhA*, 2021. pp. 169–172. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=enxcde>
7. Chekaev N., Blinokhvatova Yu., Novichkov S. Evaluation of the nitrogen regime of chernozem leached under the action of different doses of turkey waste application. Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2022;65(1):46–50. URL: https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2022/issue_1/Art5.pdf
8. Titova V. I., Varlamova L. D., Rybin R. N., Malysheva M. K. Characteristics of physico-chemical properties the light-gray forest soil in the utilization of pig manure. *Ekologicheskii vestnik Severnogo Kavkaza* = The North Caucasus Ecological Herald. 2019;(2):14–18. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38213942>
9. Tarasov S. I. Topical issues of environmental protection in the farms of industrial animal husbandry. Communication 1. Environmental aspects of the organization of industrial livestock enterprises, systems for the removal of liquid manure. *Plodородie*. 2022;(3(126)):83–86. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.126.22>
10. Karpachev V. V. Spring rapeseed. The basics of breeding: a monograph. Lipetsk: *VNIPTI rapsa*, 2008. 236 p.
11. Koshkin E. I. Physiology of crop stability. Moscow: *Drofa*, 2010. 638 p.
12. Koshkin E. I., Vagun I. V., Volovik V. T. Productivity and yield structure of spring rapeseed (*Brassica Napus* L.) with monoelement contamination of soils with heavy metals. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2012;(2):32–45. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18096442>

Сведения об авторах

✉ **Володина Евгения Николаевна**, кандидат биол. наук, доцент кафедры «Почвоведение и природо-обустройство», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», д. 97, пр. Гагарина, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603107, e-mail: kancel-nnsatu@bk.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9957-5896>, e-mail: volod-evgenia@yandex.ru

Титова Вера Ивановна, доктор с.-х. наук, профессор, заведующая кафедрой «Агрохимия и агроэкология», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», д. 97, пр. Гагарина, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603107, e-mail: kancel-nnsatu@bk.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0962-5309>

Кириллова Дарья Алексеевна, студент 4 курса биоэкологического факультета, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», д. 97, пр. Гагарина, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603107, e-mail: kancel-nnsatu@bk.ru

Information about the authors

✉ **Evgenia N. Volodina**, PhD in Biological Science, associate professor, the Department «Soil Science and Environmental Management», Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, 97 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107, e-mail: kancel-nnsatu@bk.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9957-5896>, e-mail: volod-evgenia@yandex.ru

Vera I. Titova, DSc in Agricultural Science, professor, Head of the Department «Agrochemistry and Agroecology», Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, 97 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107, e-mail: kancel-nnsatu@bk.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0962-5309>

Daria A. Kirillova, 4th year student of the Bioecological Faculty, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, 97 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107, e-mail: kancel-nnsatu@bk.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ /
FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.227-235>

УДК 633.2:631.559

**Продуктивность и питательная ценность многолетних злаковых трав в Среднем Предуралье**

© 2024. Н. И. Касаткина ✉, Ж. С. Нелюбина

ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Российская Федерация

Целью исследований являлась оценка кормовой продуктивности и питательной ценности 13 новых сортов тимофеевки луговой, овсяницы луговой и костреца безостого при возделывании на зеленую массу в Среднем Предуралье. Исследования проведены в 2018–2022 гг. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Удмуртской Республики. Метеорологические условия вегетационных периодов в годы исследований были различными: 2018, 2021 и 2022 гг. характеризовались как засушливые (ГТК – 0,89, 0,78 и 0,91 соответственно), 2020 г. – незначительно засушливый (ГТК – 1,04), 2019 г. – переувлажненный (ГТК – 1,73). Начало отрастания изучаемых сортов многолетних злаковых трав было отмечено в третьей декаде апреля, укосной спелости трав достигали за 44–60 дней. Урожайность сортов тимофеевки луговой в среднем за три года пользования травостоем была на уровне 3,5–3,9 т/га сухой массы, овсяницы луговой – 2,3–2,4 т/га, костреца безостого – 4,5–4,7 т/га. Фактор «условия года» оказывал преимущественное влияние на варьирование урожайности, плотности и высоты травостоя – 92,4...97,4 %, 62,9...79,2, 80,3...82,6 % соответственно. На количество побегов и их высоту влиял также фактор «генотип × год». Сорта овсяницы отличались относительно большим содержанием сырого жира (2,5–3,1 %), сахаров (15,6–17,7 %), кальция (0,31–0,36 %). В растительных пробах сортов костреца отмечено высокое содержание сырого жира (2,3–2,6 %), фосфора (0,68–0,71 %), калия (2,45–2,52 %), кальция (0,31–0,39 %). Выявлена положительная сильная корреляция между урожайностью сухой массы злаковых трав и содержанием в ней фосфора ($r = 0,87...0,96$) и калия ($r = 0,69...0,85$). Среди сортов многолетних злаковых трав по кормовой питательности выделились тимофеевка луговая Слейпнир (Финляндия), Атуро (Германия) и Тамиза (Германия) с выходом с 1 га обменной энергии 32,3–34,4 ГДж, переваримого протеина – 0,14–0,16 т, кормовых единиц – 2,41–2,60 тыс., овсяница луговая Карпатчи (Нидерланды) – 21,2 ГДж, 0,09 т, 1,57 тыс. и кострец безостый Гвардеец (Россия) – 35,7 ГДж, 0,25 т и 2,58 тыс. соответственно. Возделывание овсяницы Карпатчи, тимофеевки Слейпнир и костреца Гвардеец энергетически и экономически выгодно: коэффициент энергетической эффективности – 1,9; 3,0 и 3,6, уровень рентабельности – 65; 101 и 161 % соответственно.

Ключевые слова: тимофеевка луговая, овсяница луговая, кострец безостый, сорт, урожайность, сухое вещество, структура урожайности, биохимический состав

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № FUUE-2022-0001).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликтов интересов.

Для цитирования: Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Продуктивность и питательная ценность многолетних злаковых трав в Среднем Предуралье. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(2):227–235.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.227-235>

Поступила: 27.02.2024

Принята к публикации: 28.03.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

Productivity and nutritional value of perennial cereal grasses in the Middle Cis-Urals

© 2024. Nadezhda I. Kasatkina ✉, Zhanna S. Nelyubina

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

The purpose of the research was the assessment of feed productivity and nutritional value of 13 new varieties of meadow timothy, meadow fescue and awnless brome when cultivated for green mass in the Middle Cis-Urals. The research was carried out in 2018–2022 on sod-podzolic medium loamy soil of the Udmurt Republic. Meteorological conditions of the growing seasons during the years of the research were different: 2018, 2021 and 2022 were arid (hydrothermal coefficient – 0.89, 0.78 and 0.91, respectively), 2020 – slightly arid (HTC – 1.04), 2019 – waterlogged (HTC – 1.73). The beginning of regrowth of the studied varieties of perennial cereal grasses was noted in the third ten days of April; the grass reached mowing ripeness in 44–60 days. The yield of meadow timothy varieties on average for three years of using the grass stand was at the level of 3.5–3.9 t/ha of dry weight, meadow fescue – 2.3–2.4 t/ha, awnless brome – 4.5–4.7 t/ha. The “year conditions” factor

had a primary influence on the variation in yield, density and height of the grass stand – 92.4...97.4 %, 62.9...79.2, 80.3...82.6 %, respectively. The “genotype x year” factor also influenced the number of shoots and their height. Fescue varieties were distinguished by a relatively high content of crude fat (2.5–3.1 %), sugars (15.6–17.7 %), and calcium (0.31–0.36 %). High content of crude fat (2.3–2.6 %), phosphorus (0.68–0.71 %), potassium (2.45–2.52 %), calcium (0.31–0.39 %) noted in plant samples of awnless brome varieties. A positive strong correlation between the yield of dry mass of cereal grasses and the content of phosphorus ($r = 0.87...0.96$) and potassium ($r = 0.69...0.85$) in it was revealed. Some varieties of perennial cereal grasses were distinguished by their nutritional value: meadow timothy varieties Slepnr (Finland), Aturo (Germany) and Tamiza (Germany) with a yield per 1 hectare of metabolic energy of 32.3–34.4 GJ, digestible protein – 0.14–0.16 tons, feed units – 2.41–2.60 thousand; meadow fescue variety Karpachi (Netherlands) – 21.2 GJ, 0.09 tons, 1.57 thousand; awnless brome variety Gvardeets (Russia) – 35.7 GJ, 0.25 tons and 2.58 thousand, respectively. Cultivation of Karpachi fescue, Slepnr timothy and Gvardeets brome is energetically and economically profitable: energy efficiency coefficient – 1.9; 3.0 and 3.6, profitability level – 65; 101 and 161 %, respectively.

Keywords: meadow timothy, meadow fescue, awnless brome, variety, yield, dry matter, yield structure, biochemical composition

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. FUUE-2022-0001).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflicts of interest.

For citation: Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S. Productivity and nutritional value of perennial cereal grasses in the Middle Cis-Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):227–235. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.227-235>

Received: 27.02.2024

Accepted for publication: 28.03.2024

Published online: 24.04.2024

Многолетние мятликовые травы являются хорошим кормом для жвачных животных, могут использоваться на сенокосные и пастбищные цели в зависимости от способности к отрастанию после укуса [1, 2, 3]. Одним из наиболее ценных и широко распространенных видов многолетних трав является тимopheевка луговая [4, 5], которая характеризуется высокой зимо-, холодостойкостью, продуктивным долголетием [6, 7, 8]. Кострец безостый – многолетний злак, обладает высокой способностью к вегетативному размножению. При укосном использовании может возделываться в течение 8–10 лет. Вегетативные побеги хорошо облиственные, имеют высокие кормовые достоинства. Кострец хорошо поедается животными, стравливается на 80–90 %. Кроме этого, он отличается высокой засухоустойчивостью и зимостойкостью [9, 10, 11, 12]. Овсяница луговая также получила более широкое распространение в настоящее время. Характеризуется высокой облиственностью, образует куст с высоким стеблем, генеративными побегами с большим количеством укороченных сильно облиственных побегов и прикорневых листьев. В травостое держится до 10 лет, в основном используется для пастбищных целей. Имеет высокую зимостойкость, засухоустойчивость и рано отрастает весной [12, 13, 14]. Актуальным является поиск новых перспективных сортов многолетних злаковых трав с высокой зимостойкостью и продуктивностью.

Цель исследований – оценить кормовую продуктивность и питательную ценность новых

сортов тимopheевки луговой, овсяницы луговой и костреца безостого при возделывании на зеленую массу в Среднем Предуралье.

Научная новизна – получены новые экспериментальные данные по урожайности сухой массы, структуре урожайности, биохимическому составу и кормовой питательности новых сортов тимopheевки луговой, овсяницы луговой и костреца безостого; выявлено влияние генотипа и условий года на их урожайность; установлены корреляционные зависимости между биохимическим составом и урожайностью сухой массы.

Материал и методы. Исследования по конкурсному испытанию 13 сортов многолетних злаковых трав проводили в 2018–2022 гг. на опытном поле Удмуртского НИИСХ – филиала Удмуртского федерального исследовательского центра УрО РАН. В испытание были включены 7 сортов тимopheевки луговой иностранной селекции (Германия, Финляндия) и по 3 сорта овсяницы луговой и костреца безостого российской и иностранной (Нидерланды, Дания) селекций. В качестве стандартных сортов использовали тимopheевку луговую Грация (оригинатор – Ставропольский НИИСХ, РФ), овсяницу луговую Злата и кострец безостый Свердловский 38 (оригинатор – Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН, РФ). Посев проведен в 2018 и 2019 гг. сеялкой СН-16 обычным рядовым способом, норма высева сортов тимopheевки – 22 млн всх. семян на 1 га, овсяницы и костреца – 5,5 млн всх. семян на 1 га. На зеленую

массу травы убирали в фазу «колошение - начало цветения». Учетная площадь делянки – 10 м². Полевой опыт проводили согласно требованиям методики опытного дела в кормопроизводстве¹. Существенность разницы в показателях между вариантами определяли методом дисперсионного анализа, тесноту и форму связи – методом корреляционно-регрессионного анализа².

Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая с нейтральной (рН_{сол.} = 6,13) реакцией среды (ГОСТ 26483-85),

низким (2,2 %) содержанием гумуса (ГОСТ 26213-91), очень высоким (346 мг на 1 кг почвы) – подвижного фосфора и средним (101 мг на 1 кг почвы) – обменного калия (ГОСТ 26207-91).

Влагообеспеченность периодов вегетации оценивали по гидротермическому коэффициенту (ГТК) методом Г. Т. Селянинова³ (табл. 1). Вегетационные периоды в годы исследований характеризовались преимущественно засушливыми условиями (ГТК – 0,78...1,04), за исключением 2019 г. с избыточным увлажнением (ГТК – 1,73).

*Таблица 1 – Влагообеспеченность вегетационного периода в годы исследований /
Table 1 – Moisture availability of the growing season during the years of research*

Месяц / Month	ГТК / Hydrothermal coefficient				
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Май / May	1,12	1,49	0,89	0,42	1,57
Июнь / June	1,30	0,90	0,65	0,52	2,33
Июль / July	0,61	1,44	1,59	1,34	0,41
Август / August	0,72	3,24	0,79	0,79	0,02
Сентябрь / September	1,72	0,98	0,68	2,46	1,74
За период / For the period	0,89	1,73	1,04	0,78	0,91

Примечание: ГТК: 0,4–0,7 – значительная засушливость; 0,7–1,0 – засушливость; 1,0–1,3 – незначительная засушливость; 1,3–1,6 – достаточное увлажнение; больше 1,6 – переувлажнение /

Note: Hydrothermal coefficient: 0.4–0.7 – significant aridity; 0.7–1.0 – aridity; 1.0–1.3 – slight dryness; 1.3–1.6 – sufficient moisture; more than 1.6 – waterlogging

Результаты и их обсуждение. В связи с преимущественно засушливыми условиями вегетационных периодов в годы исследований изучаемые сорта злаковых трав обеспечили в основном один укос. Второй укос смогли сформировать в 2020 г. сорта тимopheевки луговой и костреца безостого, в 2022 г. – только сорта костреца.

Начало отрастания сортов тимopheевки луговой было отмечено 21–23 апреля, самое раннее – 10 апреля 2020 г. Продолжительность вегетационного периода до их укосной спелости составила 52–60 дней. В первый год пользования урожайность сортов тимopheевки луговой составила 4,1–4,8 т/га сухой массы. Существенную прибавку урожайности 0,3 т/га при НСР₀₅ – 0,3 т/га получили у сорта Атуро, внесенного в 2020 г. в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию по Волго-Вятскому региону (Госреестр). Во второй год пользования урожайность сортов тимopheевки луговой полу-

чена на уровне 3,7–4,1 т/га, в третий год – 2,7–3,1 т/га, при урожайности сорта-стандарта Грация 3,9 и 2,8 т/га соответственно. В среднем за три года пользования травостоем урожайность составила 3,5–3,9 т/га при плотности травостоя 1071–1227 шт/м² и высоте 45–47 см. Существенную прибавку урожайности 0,2 т/га сухой массы при НСР₀₅ = 0,2 т/га обеспечили сорта Анье, Атуро и Слейпнир. У сортов Атуро и Слейпнир отмечено существенное увеличение количества побегов относительно контрольного сорта на 156 и 142 шт/м² при НСР₀₅ = 82 шт/м² (табл. 2).

Отрастание сортов овсяницы луговой в годы исследования начиналось 23–28 апреля, самое раннее – 16 апреля 2020 г. Продолжительность вегетационного периода до укосной спелости составила 46–54 дня, наименьший – 37 дней, в засушливых условиях 2021 г. Изучаемые сорта овсяницы в первый год пользования обеспечили урожайность 2,2–2,5 т/га сухой массы с существенным повышением

¹Новоселов Ю. К., Киреев В. Н., Кутузов Г. П. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М., 1997. 156 с.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 416 с.

³Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;20:165–177.

кормовой продуктивности на 0,3 т/га ($HC_{P05} = 0,2$ т/га) у сорта Свердловская 37. Во второй год пользования сбор сухого вещества составил 2,5–2,9 т/га. Существенная прибавка на 0,4 т/га ($HC_{P05} = 0,1$ т/га) отмечена у сорта Карпатчи (включен в Госреестр в 2020 г.). Урожайность сортов овсяницы в третий год пользования составила 2,1–2,2 т/га, на уровне стандарта Злата. В среднем за три года пользования

травостоем урожайность была 2,3–2,4 т/га при плотности травостоя 1051–1199 шт/м² и высоте 53–55 см. Существенная прибавка урожайности на 0,1 т/га ($HC_{P05} = 0,1$ т/га) отмечена у сортов Свердловская 37 и Карпатчи, у Свердловская 37 – за счет увеличения на 137 шт/м² ($HC_{P05} = 50$ шт/м²) количества побегов, у сорта Карпатчи – за счет увеличения на 5 % их облиственности.

Таблица 2 – Урожайность сортов многолетних злаковых трав и ее структура / Table 2 – The yield of varieties of perennial grasses and its structure

Сорт / Variety	Урожайность сухой массы, т/га / Yield of dry weight, t/ha				Кол-во побегов, шт /m ² / Shoots, pcs /m ²	Высота травостоя, см / Height of the herbage, cm
	1 г. п., в среднем за 2019 и 2020 г. / 1 year of use, on average for 2019 and 2020	2 г. п., в среднем за 2020 и 2021 г. / 2 year of use, on average for 2020 and 2021	3 г. п., в среднем за 2021 и 2022 г. / 3 year of use, on average for 2021 and 2022	среднее / average		
Тимофеевка луговая / Meadow timothy						
Грация – ст. / Graciya – st.	4,5	3,9	2,8	3,7	1071	48
Анье / An'e	4,7	4,1	2,9	3,9	1140	47
Атуро (6n)*/ Aturo (6n)*	4,8	4,1	2,8	3,9	1227	46
Овация / Ovaciya	4,4	4,0	2,9	3,8	1183	45
Поларкинг / Polarking	4,1	3,7	2,7	3,5	1167	45
Слейпнир / Slejpniir	4,6	4,1	3,1	3,9	1213	47
Тамиза / Tamiza	4,7	3,9	2,7	3,8	1091	46
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,3	F _ф <F _г	F _ф <F _г	0,2	82	-
Овсяница луговая / Meadow fescue						
Злата (4n) – ст. / Zlata (4n) – st.	2,2	2,5	2,1	2,3	1062	54
Свердловская 37 / Sverdlovskaya 37	2,5	2,5	2,1	2,4	1199	55
Карпатчи / Karpatchi	2,2	2,9	2,2	2,4	1051	53
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,2	0,1	0,2	0,1	50	-
Кострец безостый / Awnless brome						
Свердловский 38 – ст. / Sverdlovskij 38 – st.	3,4	5,4	4,9	4,6	809	54
Гвардеец (8n) / Gvardeets (8n)	3,4	5,6	5,1	4,7	735	56
Карлтон (8n) / Karlton (8n)	3,4	5,3	4,8	4,5	808	55
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	F _ф <F _г	0,2	0,2	0,1	56	-

*Сорт имеет полиплоидный набор хромосом / *The variety has a polyploid set of chromosomes

Начало отрастания сортов костреца безостого было отмечено 21–23 апреля, самое раннее – 10 апреля 2020 г., вегетационный период до укосной спелости составил 44–52 дня.

Изучаемые сорта в первый год пользования сформировали урожайность сухой массы 3,4 т/га, что на уровне стандартного сорта Свердловский 38. Во второй год пользования урожайность у сортов костреца была выше – 5,3–5,6 т/га, наибольшая прибавка 0,2 т/га ($HC_{P05} = 0,2$ т/га) получена у сорта Гвардеец,

включенного в Госреестр в 2021 г. В третий год пользования урожайность составила 4,8–5,1 т/га, также с существенной прибавкой 0,2 т/га у сорта Гвардеец ($HC_{P05} = 0,2$ т/га). В среднем за три года пользования урожайность сухой массы составила 4,5–4,7 т/га при плотности травостоя 735–809 шт/м² и высоте 54–56 см. Существенную прибавку (0,1 т/га) обеспечил сорт Гвардеец за счет повышения травостоя на 2 см.

Выявлено, что наибольший вклад в варьирование изучаемых признаков оказывали

условия года. Так, у сортов тимopheевки влияние фактора «год» на варьирование урожайности сухой массы составило 95,0 %, плотности травостоя – 79,2 %, высоты травостоя – 82,6 %, у сортов овсяницы – 92,4, 73,1 и 88,6 %, у сортов костреца – 97,4, 62,9 и 80,3 % соответственно. На изменение количества побегов и высоты травостоя большое влияние оказывало взаимодействие факторов «генотип x год» (табл. 3).

у сортов костреца – 97,4, 62,9 и 80,3 % соответственно. На изменение количества побегов и высоты травостоя большое влияние оказывало взаимодействие факторов «генотип x год» (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние генотипа и условий года на признаки и урожайность многолетних злаковых трав, %
Table 3 – The influence of genotype and conditions of the year on the traits and yield of perennial grasses, %

Признак / Trait	Фактор / The factor		Сочетание факторов (AB) / Combination of factors (AB)
	генотип (A) / genotype (A)	год (B) / year (B)	
Тимофеевка луговая / Meadow timothy			
Урожайность сухой массы / Yield of dry mass	1,7	95,0	3,2
Количество побегов / Number of shoots	6,4	79,2	13,2
Высота травостоя / Height of the herbage	2,7	82,6	14,6
Овсяница луговая / Meadow fescue			
Урожайность сухой массы / Yield of dry mass	0,8*	92,4	6,8
Количество побегов / Number of shoots	2,9	73,1	24,0
Высота травостоя / Height of the herbage	2,1	88,6	9,1
Кострец безостый / Awnless brome			
Урожайность сухой массы / Yield of dry mass	1,6	97,4	0,8*
Количество побегов / Number of shoots	3,6	62,9	33,2
Высота травостоя / Height of the herbage	1,8*	80,3	17,6

* $F_{\phi} < F_T / F_f < F_t$

Биохимический состав многолетних злаковых трав зависел от биологических особенностей культур. Содержание сырой золы в растительных пробах изучаемых трав в среднем за 3 года составило от 5,2–5,7 % у сортов тимopheевки до 6,6–6,9 % у сортов костреца и овсяницы (по ГОСТ 55452-2021 «Сено и сенаж» – не более 10 % для 1-го класса). У сортов овсяницы выявлена отрицательная средняя корреляционная зависимость ($r = -0,41$) между содержанием сырой золы и урожайностью сухой массы (табл. 4).

Содержание сырого жира было на уровне 2,1–3,1 %, наибольшее 2,5–3,1 % – в образцах растений сортов овсяницы. Отмечена отрицательная средняя корреляция ($r = -0,52$) между содержанием сырого жира и урожайностью сортов костреца. Содержание сахаров в растениях тимopheевки получено на уровне 13,8–15,8 %, овсяницы – 15,6–17,7 %, костреца – 13,8–14,2 %. У сортов костреца наблюдалась положительная сильная корреляция ($r = 0,79$) между содержанием сахаров и урожайностью.

Содержание фосфора в образцах растений составляет в среднем 0,5 % сухого вещества, изменяясь от 0,1 до 1,5 % [15]. В растительных пробах изучаемых сортов трав содержалось 0,57–0,71 % фосфора, наибольшее 0,68–0,71 %

отмечено у сортов костреца. Между содержанием данного элемента и урожайностью сухой массы трав выявлена положительная сильная корреляция ($r = 0,87...0,96$).

Среднее содержание калия в растениях составляет около 1,0 % сухого вещества, варьируя от 0,3 до 2,5 % в зависимости от содержания подвижных форм, доз минеральных удобрений и извести, ботанического состава и стадии вегетации. При высокой доступности калия в почве или применении высоких доз калийных удобрений растения способны накапливать высокие концентрации (до 6 %) и аккумулировать калий в тканях [15]. В наших исследованиях в растительных пробах сортов тимopheевки калия содержалось 1,98–2,14 %, сортов овсяницы – 2,11–2,30 % и 2,45–2,52 % у сортов костреца. Между содержанием калия и урожайностью сухой массы отмечена положительная сильная корреляция ($r = 0,69...0,85$).

На содержание кальция в растениях влияют абиотические факторы, более высокое содержание данного элемента наблюдается в сухой вегетационный период, чем в сезоны вегетации с избытком осадков [15]. В наших исследованиях относительное наибольшее содержание данного элемента было выявлено

у сортов костреца (0,31–0,39 %) и овсяницы (0,31–0,36 %). При этом у этих культур наблюдалась отрицательная средняя и сильная корре-

ляционная зависимость ($r = -0,45$ и $r = -0,88$) между содержанием кальция и урожайностью сухой массы.

**Таблица 4 – Биохимический состав сортов многолетних злаковых трав (% массы сухого вещества), корреляционная зависимость между биохимическим составом и урожайностью сухой массы (среднее за 2019–2022 гг.)
Table 4 – Biochemical composition of perennial cereal grass varieties (% by weight of dry matter), correlation between biochemical composition and dry mass yield (average for 2019–2022)**

<i>Copt / Variety</i>	<i>Сырая зола / Raw ash</i>	<i>Сырой жир / Raw fat</i>	P_2O_5	K_2O	<i>Ca</i>	<i>Сахаров / Sugars</i>
Тимофеевка луговая / Meadow timothy						
Грация – ст. / Graciya – st.	5,4	2,5	0,62	1,98	0,19	14,7
Анье / An'e	5,4	2,4	0,61	2,13	0,26	14,9
Атуро (6n) / Aturo (6n)	5,2	2,4	0,61	2,09	0,36	16,4
Овация / Ovaciya	5,7	2,6	0,57	2,13	0,29	14,0
Поларкинг / Polarking	5,5	2,9	0,65	2,14	0,21	15,8
Слейпнир / Slejpnir	5,6	2,1	0,63	2,10	0,31	13,8
Тамиза / Tamiza	5,7	2,8	0,62	2,11	0,27	15,2
Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	-0,06	-0,16	0,96	0,85	0,25	-0,21
Овсяница луговая / Meadow fescue						
Злата (4n) – ст. / Zlata (4n) – st.	6,8	2,7	0,70	2,25	0,36	17,7
Свердловская 37 / Sverdlovskaya 37	6,8	3,1	0,68	2,30	0,31	16,9
Карпатчи / Karpatchi	6,9	2,5	0,64	2,11	0,33	15,6
Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	-0,41	0,22	0,87	0,69	-0,45	0,30
Кострец безостый / Awnless brome						
Свердловский 38 – ст. / Sverdlovskij 38 – st.	6,7	2,3	0,68	2,45	0,31	14,2
Гвардеец (8n) / Gvardeets (8n)	6,8	2,6	0,71	2,52	0,31	14,2
Карлтон (8n) / Karlton (8n)	6,6	2,4	0,70	2,47	0,39	13,8
Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	0,04	-0,52	0,89	0,71	-0,88	0,79

В зависимости от вида и сорта многолетних злаковых трав их кормовая питательность изменялась. Наибольшее содержание сырого протеина в сухом веществе 10,6–11,3 % было отмечено у сортов костреца Гвардеец и Свердловский 38, что соответствует 2 классу по ГОСТ 55452-2021 «Сено и сенаж», у сортов тимофеевки сырого протеина содержалось 6,8–8,3 %, сортов овсяницы – 7,6–8,5 % (табл. 5).

Концентрация обменной энергии (КОЭ) в сухом веществе сортов костреца составила 8,9 МДж/кг (ГОСТ для 1 класса – не менее 8,9 МДж/кг), содержание кормовых единиц – 0,64. У сортов овсяницы и тимофеевки эти показатели были выше: 9,1–9,2 МДж/кг; 0,67–0,68 и 9,0–9,3 МДж/кг; 0,66–0,71 соответственно.

Выход обменной энергии наибольший получен у сортов костреца и тимофеевки: 33,3–35,7 и 30,0–34,4 ГДж/га соответственно,

сортов овсяницы данный показатель составил 20,0–21,2 ГДж/га. Выход кормовых единиц с 1 гектара у сортов костреца составил 2,40–2,58 тыс., тимофеевки – 2,21–2,60 тыс., овсяницы – 1,48–1,57 тыс. У сортов костреца аналогично высоким 0,19–0,27 т/га был сбор сырого протеина. По комплексу показателей кормовой питательности можно отметить следующие сорта трав: тимофеевка Атуро, Слейпнир и Тамиза, овсяница Карпатчи, кострец Гвардеец.

При проведении анализа агроэнергетической эффективности возделывания сортов многолетних злаковых трав было выявлено, что возделывание новых перспективных сортов злаковых трав обеспечило высокий коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ) в сравнении со стандартными сортами: овсяница Свердловская 37 и Карпатчи – 1,9, тимофеевка Слейпнир, Атуро – 3,0–3,1, кострец Гвардеец – 3,6.

Таблица 5 – Кормовая питательность сухого вещества и продуктивность посевов сортов многолетних злаковых трав (среднее за 2019–2022 гг.)

Table 5 – Feed nutritional value of dry matter and productivity of crops of perennial cereal grass varieties (average for 2019–2022)

Сорт / Variety	Содержание в 1 кг / Content in 1 kg			Выход с 1 га / Output from 1 ha		Сбор сырого протеина, т/га / Collec- tion of raw protein, t/ha
	сырой протеин, % / raw protein, %	КОЭ, МДж / COE, MJ	корм. ед. / food units.	обменной энергии, ГДж / exchange energy, GJ	тыс. корм. ед. / thousand feed units.	
Тимофеевка луговая / Meadow timothy						
Грация – ст. / Graciya – st.	7,8	9,0	0,66	31,4	2,29	0,08
Анье / An'e	7,8	9,0	0,66	32,8	2,39	0,14
Атуро (6н) / Aturo (6n)	7,7	9,1	0,66	33,1	2,42	0,14
Овация / Ovaciya	7,6	9,1	0,67	31,9	2,34	0,13
Поларкинг / Polarking	6,8	9,1	0,67	30,0	2,21	0,10
Слейпнир / Slejpniir	8,3	9,3	0,71	34,4	2,60	0,16
Тамиза / Tamiza	8,1	9,2	0,69	32,3	2,41	0,15
Овсяница луговая / Meadow fescue						
Злата (4н) – ст. / Zlata (4n) – st.	8,5	9,2	0,68	20,0	1,48	0,10
Свердловская 37 / Sverdlovskaya 37	8,4	9,1	0,67	20,4	1,50	0,10
Карпатчи / Karpatchi	7,6	9,2	0,68	21,2	1,57	0,09
Кострец безостый / Awnless brome						
Свердловский 38 – ст. / Sverdlovskij 38 – st.	11,3	8,9	0,64	34,3	2,46	0,27
Гвардеец (8н) / Gvardeets (8n)	10,6	8,9	0,64	35,7	2,58	0,25
Карлтон (8н) / Karlton (8n)	9,1	8,9	0,64	33,3	2,40	0,19

Стоимость валовой продукции злаковых трав составила от 39,9–43,3 тыс. руб/га у сортов овсяницы до 68,1–74,4 тыс. руб/га у сортов костреца, производственные затраты – 25,6–32,4 тыс. руб/га. Низкая себестоимость произведенной продукции и, соответственно, наиболее высокий чистый доход получили при выращивании костреца Гвардеец (0,63 и 46,9 тыс. руб/т), тимopheевки Слейпнир (0,82 и 33,7 тыс. руб/т) и овсяницы Карпатчи (1,02 и 18,0 тыс. руб/т). Уровень рентабельности возделывания данных сортов находился в пределах 161 %, 101 и 65 % соответственно.

Заклучение. Урожайность сортов тимopheевки луговой в среднем за три года пользования травостоем (2019–2022 гг.) получена на уровне 3,5–3,9 т/га сухой массы, овсяницы луговой – 2,3–2,4 т/га, костреца безостого – 4,5–4,7 т/га. Преимущественное влияние на варьирование урожайности, плотности и высоты травостоя оказали условия вегетации (фактор «год»). На количество побегов и их высоту повлияло взаимодействие факторов «генотип х год». Биохимический состав многолетних зла-

ковых трав зависел от биологических особенностей культур. Сорта овсяницы отличались относительно большим содержанием сырого жира (2,5–3,1 %), сахаров (15,6–17,7 %), кальция (0,31–0,36 %). В растительных пробах сортов костреца отмечено высокое содержание сырого жира (2,3–2,6 %), фосфора (0,68–0,71 %), калия (2,45–2,52 %), кальция (0,31–0,39 %). Выявлена положительная сильная корреляция между содержанием фосфора, калия и урожайностью сухой массы злаковых трав. Среди сортов многолетних злаковых трав по кормовой питательности выделились тимopheевка луговая Слейпнир, Атуро и Тамиза с выходом с 1 га обменной энергии 32,3–34,4 ГДж, переваримого протеина – 0,14–0,16 т, кормовых единиц – 2,41–2,60 тыс., овсяница луговая Карпатчи – 21,2 ГДж, 0,09 т, 1,57 тыс. и кострец безостый Гвардеец – 35,7 ГДж, 0,25 т и 2,58 тыс. соответственно. Возделывание овсяницы Карпатчи, тимopheевки Слейпнир и костреца Гвардеец энергетически и экономически выгодно: КЭЭ – 1,9; 3,0 и 3,6, уровень рентабельности – 65; 101 и 161 % соответственно.

Список литературы

1. Золотарев В. Н., Трухан О. В., Комахин П. И., Козлова Т. В. Исторические аспекты, состояние и перспективы развития кормовых трав в России. *Кормопроизводство*. 2022;(7):3–9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49841894> EDN: XZSNLM
2. Шаманин А. А., Попова Л. А., Гинтов В. В. Малораспространенные кормовые культуры для формирования высококачественных кормовых агроценозов в условиях Северного региона России. *Аграрный вестник Урала*. 2019;(4(183)):40–47. DOI: https://doi.org/10.32417/article_5cf953df8675d5.73728392 EDN: ZDJRRG
3. Kosolapov V. M., Khudyakova K. K., Kosolapova V. G. Evaluation of cereal forage grasses and forages from them according to the content of protein insoluble in acid detergent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;(901(1)):012028. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/901/1/012028>
4. Волошин В. А. Оценка тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.) в коллекционном питомнике. *Пермский аграрный вестник*. 2019;(3(27)):30–37. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41584559> EDN: KMWRNL
5. Павлова О. В. Исследование кормовых свойств различных сортов тимopheевки луговой в условиях Приморского края. *Аграрный вестник Приморья*. 2019;(4(16)):22–26. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41861321> EDN: WKRIOT
6. Сысуев В. А., Фигурин В. А. Адаптивная стратегия устойчивой продуктивности многолетних трав на Северо-Востоке Европейской части России. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;(30(12)):79–82. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28147497> EDN: XRYTCJ
7. Ключкова Н. Л., Теличко О. Н. Оценка селекционного материала многолетних злаковых трав по кормовым достоинствам. *Аграрная Россия*. 2023;(6):3–7. DOI: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2023-6-3-7> EDN: RDEJAC
8. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Продуктивность сортов тимopheевки луговой в Удмуртской Республике. Развитие современных систем земледелия и животноводства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: Всеросс. научн. конф. Пермь: Изд-во «ОТ и ДО», 2023. С. 267–273. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54399065> EDN: OUKSOS
9. Иванов И. С., Золотарев В. Н., Образцов В. Н. Продуктивность костреца безостого в степных условиях Центрального Черноземья России. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2021;14(4):58–64. DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_58 EDN: CZIRDH
10. Шепелев В. В., Юсова О. А., Момонов А. Х. Оценка качества, продуктивность семян и зеленой массы сортов костреца безостого омской селекции. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020;(10(192)):35–42. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44094525> EDN: MXJXS
11. Zolotarev V. N., Saprykin S. V., Ivanov I. S. Evaluation of breeding material of awnless rump (*Bromus inermis* Leyss.) for productivity in agrophytocenoses mixed with alfalfa. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;901(1):012029. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/901/1/012029>
12. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Кормовая продуктивность сортов овсяницы луговой и костреца безостого. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: Междунар. научн.-практик. конф. Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2023. С. 152–156. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53828330> EDN: VSKHVQ
13. Золотарев В. Н. Хозяйственно-полезные признаки и особенности возделывания тетраплоидного сорта овсяницы луговой Бинара. *Адаптивное кормопроизводство*. 2021;(2):31–43. DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2021-2-31-43> EDN: KVDDBL
14. Тормозин М. А., Беляев А. В., Тихолаз Е. М. Влияние обработки растений по вегетации стимуляторами роста и средствами защиты на семенную продуктивность овсяницы луговой сорта Надежда. *Аграрный вестник Урала*. 2020;(11(202)):28–36. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-202-11-28-36> EDN: MVWIPJ
15. Косолапов В. М., Чуйков В. А., Худякова Х. К., Косолапова В. Г. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа. М.: ООО «Угрешская типография», 2019. 272 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39203808> EDN: XJCOYG

References

1. Zolotarev V. N., Trukhan O. V., Komakhin P. I., Kozlova T. V. History, state and promising aspects of seed production of forage grasses in Russia. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2022;(7):3–9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49841894>
2. Shamanin A. A., Popova L. A., Gintov V. V. Using the less widespread feed crops for forming a high quality feed agrophytocenosis in conditions of the northern region of Russia. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2019;(4(183)):40–47. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32417/article_5cf953df8675d5.73728392
3. Kosolapov V. M., Khudyakova K. K., Kosolapova V. G. Evaluation of cereal forage grasses and forages from them according to the content of protein insoluble in acid detergent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;(901(1)):012028. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/901/1/012028>
4. Voloshin V. A. Evaluation of timothy grass (*Phleum pratense*) in the collection nursery. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2019;(3(27)):30–37. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41584559>

5. Pavlova O. V. Research of fodder properties of various grades of timofeevka meadow in the conditions of Primorsky krai. *Agrarnyy vestnik Primor'ya*. 2019;(4(16)):22–26. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41861321>
6. Sysuyev V. A., Figurin V. A. Adaptive strategy of sustainable productivity of perennial grasses in the North-East of the European part of Russia. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2016;(30(12)):79–82. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28147497>
7. Klochko N. L., Telichko O. N. Evaluation of the breeding material of perennial grasses on fodder merits. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*. 2023;(6):3–7. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2023-6-3-7>
8. Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S. Productivity of timothy grass varieties in Udmurt Republic. Development of modern systems of agriculture and animal husbandry, ensuring environmental safety of the environment: All-Russian Scientific Conference. Perm: *Izd-vo «OT i DO»*, 2023. С. 267–273.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54399065>
9. Ivanov I. S., Zolotarev V. N., Obraztsov V. N. Productivity of awnless brome in steppe conditions of the central chernozem region of Russia. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh state agrarian university*. 2021;14(4):58–64. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_58
10. Shepelev V. V., Yusova O. A., Momonov A. Kh. Quality appraisal and seed and herbage productivity of awnless brome varieties developed in omsk. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2020;(10(192)):35–42. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44094525>
11. Zolotarev V. N., Saprykin S. V., Ivanov I. S. Evaluation of breeding material of awnless rump (*Bromus inermis* Leyss.) for productivity in agrophytocenoses mixed with alfalfa. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;901(1):012029. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/901/1/012029>
12. Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S. Feed productivity of varieties of meadow fescue and awnless brome. Methods and technologies in plant breeding and crop production: International Scientific- practical conf. Kirov: *FANTs Severo-Vostoka*, 2023. pp. 152–156. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53828330>
13. Zolotarev V. N. Economically useful signs and features cultivation of tetraploid variety meadow fescue 'Binara'. *Adaptivnoe kormoproizvodstvo = Adaptive fodder production*. 2021;(2):31–43. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2021-2-31-43>
14. Tormozin M. A., Belyaev A. V., Tikholaz E. M. Influence of vegetation treatment with growth stimulants and protection agents on seed productivity of meadow fescue Nadezhda. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020;(11(202)):28–36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-202-11-28-36>
15. Kosolapov V. M., Chuykov V. A., Khudyakova Kh. K., Kosolapova V. G. Mineral elements in feed and methods of their analysis. Moscow: *ООО «Ugreshskaya tipografiya»*, 2019. 272 p.
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39203808>

Сведения об авторах

✉ **Касаткина Надежда Ивановна**, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина, д.1, с. Первомайский, Завьяловский р-н, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 427067, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0725-2254>

Нелюбина Жанна Сергеевна, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина, д.1, с. Первомайский, Завьяловский р-н, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 427067, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5751-9557>

Information about the authors

✉ **Nadezhda I. Kasatkina**, DSc in Agricultural Science, leading researcher, Udmurt Research Institute of Agriculture – Branch of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lenin str., 1, Pervomaisky village, Zavyalovsky district, Udmurt Republic, Russian Federation, 427067, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0725-2254>

Zhanna S. Nelyubina, DSc in Agricultural Science, leading researcher, Udmurt Research Institute of Agriculture – Branch of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lenin str., 1, Pervomaisky village, Zavyalovsky district, Udmurt Republic, Russian Federation, 427067, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5751-9557>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.236-250>



УДК 636.32/.38

Идентификация генов-кандидатов, связанных с ростом и развитием овец из кроссбредной популяции, с использованием полногеномного поиска ассоциаций

© 2024. Т. Е. Денискова✉, О. А. Кошкина, С. Н. Петров, А. А. Сермягин, Н. А. Зиновьева

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация

В статье представлены результаты поиска полногеномных ассоциаций с фенотипическими показателями, характеризующими рост и развитие овец из кроссбредной популяции, полученной от скрещивания овец романовской породы и F1 гибридных баранов (романовская овца × катадин). База фенотипов включала десять промеров туловища (высота в холке, высота в крестце, высота спины, глубина груди, ширина груди за лопатками, ширина в маклоках, длина туловища, косая длина туловища, обхват груди, обхват пясти), зафиксированных в возрасте 6 дней, 3, 6 и 9 месяцев. Генотипирование овец проводили с помощью ДНК-чипов высокой плотности, содержащих около 600 000 SNP-маркеров. Полногеномные ассоциативные исследования (genome-wide association study, GWAS) выполнены путем регрессионного анализа в программе STATISTICA 10. Поиск генов-кандидатов, локализованных в области SNP, был осуществлен посредством Ensembl genome browser 110. Проведен анализ совпадений, идентифицированных SNP с известными локусами количественных признаков (QTL), включенными в базу данных Sheep Quantitative Trait Locus Database. Выявлены SNP, достоверно ассоциированные с изучаемыми фенотипическими показателями, расположенные внутри QTL, среди которых наиболее часто встречались категории «Масса туши», «Масса мышечной ткани в туше», «Живая масса» и «Масса костей». Установлено, что SNP, достоверно ассоциированные с экстерьерными показателями, были локализованы внутри или в непосредственной близости от 64 генов. Обнаружены потенциальные кандидаты, регулирующие рост мышечной (FOXO3, PRKAG3, MYOZ2 и ANKRD1) и хрящевой тканей (FGF12) и участвующие в критических для роста ягнят метаболических процессах (CLDN, ALB и MRC1). Наряду с известными у овец функциональными кандидатами (CAST и SCD5) выявлены гены, не описанные ранее у овец, но регулирующие процессы роста и развития у других видов сельскохозяйственных животных, в том числе гены RAB28, PRKAG3 и FOXO3. Идентифицированные SNP могут быть рекомендованы для включения в программы маркер-ориентированной селекции в овцеводстве.

Ключевые слова: SNP, GWAS, QTL, экстерьерные показатели, ресурсная популяция, ДНК-чипы

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 21-66-00007.

Для проведения исследований использовали оборудование ЦКП «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Денискова Т. Е., Кошкина О. А., Петров С. Н., Сермягин А. А., Зиновьева Н. А. Идентификация генов-кандидатов, связанных с ростом и развитием овец из кроссбредной популяции, с использованием полногеномного поиска ассоциаций. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):236–250.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.236-250>

Поступила: 05.02.2024

Принята к публикации: 15.03.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

Identification of candidate genes associated with growth and development of sheep from a crossbred population using genome-wide association studies

© 2024. Tatiana E. Deniskova✉, Olga A. Koshkina, Sergey N. Petrov, Alexander A. Sermyagin, Natalia A. Zinovieva

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, pos. Dubrovitsy, Moscow region, Russian Federation

The article presents the results of a search for genome-wide associations with phenotypic traits characterizing the growth and development of sheep from a crossbred population obtained from crossing Romanov sheep and F1 hybrid rams (Romanov sheep × Katahdin). The phenotype database included ten body measurements (withers height, sacral height, back

height, chest depth, chest width, ischial tuberosity width, body length, oblique body length, chest girth, pastern girth) recorded at the age of 6 days, 3, 6 and 9 months. Genotyping of sheep was carried out using high-density DNA chips containing about 600,000 SNP markers. Genome-wide association studies (GWAS) were performed using regression analysis in the STATISTICA 10 program. The search for candidate genes localized in the SNP region was performed using Ensembl genome browser 110. There was carried out an analysis of the matches of the identified SNPs with known quantitative trait loci (QTLs) described in the Sheep Quantitative Trait Locus Database. There were found SNPs that were significantly associated with the studied phenotypic traits overlapped with the QTLs, among which the most common categories were “Body weight (slaughter)”, “Muscle weight in carcass”, “Body weight (live)” and “Bone weight in carcass”. There has been established that SNPs significantly associated with exterior traits were localized within or in the immediate vicinity of 64 genes. There were found potential candidates regulating the growth of muscle (FOXO3, PRKAG3, MYOZ2, and ANKRD1) and cartilage tissues (FGF12) and involved in metabolic processes, which were critical for the growth of lambs (CLDN, ALB, and MRC1). Along with the known in sheep functional candidates (CAST and SCD5), there were identified genes that were not previously described in sheep, but regulated growth and development processes in other livestock species including genes RAB28, PRKAG3 and FOXO3. The identified SNPs can be recommended for inclusion in marker-guided selection programs in sheep breeding.

Keywords: SNP, GWAS, QTL, exterior traits, resource population, DNA chips

Acknowledgements: the study was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 21-66-00007.

During the research, the equipment of the Center for Biological Resources and Bioengineering of Agricultural Animals (L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Deniskova T. E., Koshkina O. A., Petrov S. N., Sermyagin A. A., Zinovieva N. A. Identification of candidate genes associated with growth and development of sheep from a crossbred population using genome-wide association studies. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):236–250. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.236-250>

Received: 05.02.2024

Accepted for publication: 15.03.2024

Published online: 24.04.2024

В настоящее время овцеводство считается одной из перспективных отраслей животноводства, так как является важным резервом в обеспечении продовольственной безопасности государства и насыщения рынка качественным экологически чистым сырьем. Овца способна давать комплекс разнообразной продукции: шерсть, продукты диетического питания (молоко и мясо), сырье для медицинской и фармакологической промышленности [1].

Считается, что производство мяса овец не может конкурировать по объему и цене с производством мяса птицы и свинины, поэтому оно должно быть сфокусировано на качестве продукции [2]. Скорость роста и масса тела овец – это экономически важные признаки, которые влияют на направленный отбор в селекции [3], поэтому в последнее время все более актуальным вопросом в программах разведения овец становится улучшение качества этих показателей. В связи с этим поиск генетических механизмов, влияющих на формирование экономически значимых признаков в овцеводстве – это основная задача на сегодняшний день, вызывающая повышенный научный интерес [4, 5].

Для понимания генетических механизмов, формирующих эти признаки, важно точно определить фенотипы, которые описывают

качественные и количественные характеристики туши. Фенотипическая оценка качества мяса ограничена возможностью только пост-убойного измерения. Но при этом существует возможность неинвазивного и точного измерения характеристик туши у живых животных с использованием компьютерной томографии. Однако некоторые факторы, такие как высокая стоимость и ограниченная доступность, препятствуют ее массовому использованию [6]. Более распространенным методом для повышения эффективности отбора является использование маркер-ориентированной селекции (MAS). Выявление локусов количественных признаков (QTL), влияющих на хозяйственно важные признаки, и их дальнейшее использование в MAS повысит скорость генетического прогресса.

Анализ QTL позволяет идентифицировать участок хромосомы, связанный с вариацией интересующего признака, и выявить позиционные гены-кандидаты. В последнее время для различных видов сельскохозяйственных животных был проведен поиск локусов количественных признаков [4, 7, 8]. По сравнению с другими видами, в популяциях овец идентифицировано наименьшее количество QTL.

На сегодняшний день международная база данных локусов количественных признаков овец SheepQTLdb содержит информацию о 5110 QTL¹. Несмотря на многочисленные известные данные, работ по исследованию QTL роста и развития овец на различных стадиях роста на сегодняшний день не так много. Однако в последнее время ученые всего мира обращают все больше внимания на эту тематику.

В 2016 году О. Матика с соавт. (O. Matika et al.) на основе данных полногеномного ассоциативного исследования (genome-wide association study, GWAS) с использованием ДНК-чипа Illumina OvineSNP50 идентифицировали новый геномный регион на хромосоме 6 (OAR6), связанный с показателями качества мяса [9]. Выполненный GWAS-анализ полногеномных ассоциаций живой массы с применением ДНК-чипа высокой плотности Ovine Infinium® HD SNP BeadChip («Illumina, Inc.», США) позволил выявить 38 SNP, достоверно ассоциированных с живой массой на OAR1, OAR2, OAR3, OAR4, OAR6, OAR9, OAR10, OAR11, OAR13, OAR15 и OAR19 [4].

В 2023 году с использованием ДНК-чипа высокой плотности Affymetrix Ovis600K был проведен поиск локусов, связанных с массой тела при отъеме и в годовалом возрасте [10], в результате которого обнаружена новая область генома (OAR10: 76,04-77,23 Mb) с 22 значимыми SNP, были выявлены новые гены-кандидаты, связанные с массой тела овец: *HINT1*, *ASB11* и *GPR143*. В другом исследовании был выявлен значимый SNP в гене *NPPC* на OAR2, ассоциированный с массой тела при отъеме на 90-й день и с рождения до отъема [11]. Основываясь на результатах полногеномных ассоциативных исследований с использованием ДНК-чипа средней плотности Fine Wool Sheep 50K Panel (MolBreeding Biotech Ltd., Shijiazhuang, China), Ц. Ли с соавт. (C. Li et al.) идентифицировали гены-кандидаты *FAM184B*, *NCAPG*, *MACF1*, *ANKRD44*, *DCAF16*, *FUK*, *LCORL* и *SYN3*, влияющие на живую массу в 14-месячном возрасте [12].

В России также активно ведутся исследования по поиску генов-кандидатов с использованием ДНК-чипов высокой плотности. Например, в результате проведения GWAS были предложены 16 генов-кандидатов, ассоциированных с прижизненными показателями

мясной продуктивности овец северокавказской мясошерстной породы, в том числе *CILK1*, *GABRB2*, *SLC44A1*, *C12ORF45*, *SLC41A2*, *SH3KBPI*, *LRRIQ1*, *SWAP70*, *THBS1* и *FSIP* [13]. Т. Ю. Егорова и др. проводили поиск полногеномных ассоциаций с толщиной бедренной мышцы и толщиной мышечного глазка в популяции баранчиков породы джалгинский меринос. На основе проведенного исследования гены *TENT2*, *ST8SLA3*, *SLC12A1*, *THSD7B* и *PPM1A* были предложены в качестве кандидатов для первого фенотипического признака, а гены *MOSPD1* и *ERCC4* – для второго фенотипического признака [14]. Кроме того, предложена платформа GWAS-MAP|ovis для хранения, унификации и анализа ассоциаций между геномными вариантами и признаками мясной продуктивности овец [15].

На основании вышеизложенного, считаем целесообразным проводить дальнейший поиск QTL, ассоциированных с живой массой и ростовыми показателями овец.

Цель работы – поиск генов-кандидатов, ассоциированных с размерами туловища и энергией роста, с использованием ДНК-чипов высокой плотности путем проведения GWAS в кроссбредной популяции овец для последующего включения в маркер-ориентированную селекцию.

Научная новизна – на поголовье ресурсной популяции ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л. К. Эрнста проведены полногеномные ассоциативные исследования с использованием чипов высокой плотности Ovine Infinium® HD SNP BeadChip («Illumina, Inc.», США) и установлены достоверные ассоциации SNP с показателями, характеризующими рост и развитие гибридного молодняка овец из группы возвратных кроссов, полученных от скрещивания овцематок романовской породы и F1 гибридных баранов (романовская × катадин). Исходные родительские породы овец, используемые для создания кроссбредной популяции, были выбраны по признаку контрастности по размерам туловища и энергии роста: порода катадин (крупные быстрорастущие) и романовская порода (средние со средней энергией роста).

Полученные результаты могут быть использованы в программах отечественной селекции овец, способствующих повышению эффективности отрасли овцеводства.

¹База данных локусов количественных признаков овец SheepQTLdb. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.animalgenome.org/cgi-bin/QTLdb/OA/index> (дата обращения: 17.01.2024).

Материал и методы. Исследования проводили с 2021 по 2023 год на базе оборудования ЦКП «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л. К. Эрнста. Объекты исследования – овцы из группы возвратных кроссов, полученных от скрещивания овец романовской породы и F1 гибридных баранов (романовская × катадин) ($n = 95$, в т. ч. 46 баранчиков и 49 ярок). Экспериментальные овцы были получены и разводились на ферме ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область.

Промеры туловища экспериментальных овец фиксировались в возрасте 6 дней, 3, 6 и 9 месяцев. Экстерьерные показатели роста и развития, в том числе: высота в холке (ВХ), высота в крестце (ВК), высота спины (ВС), глубина груди (ГГ), ширина груди за лопатками (ШГ), ширина в маклоках (ШМ), длина туловища (ДТ), косая длина туловища (КДТ), обхват груди (ОГ), обхват пясти (ОП) фиксировались с помощью рулетки бонитировщика, швейного метра и тазомера. Полученные данные были статистически обработаны, для каждого измеряемого показателя рассчитана вариация.

Генотипирование экспериментальных овец проводили с использованием ДНК-чипов высокой плотности *Ovine Infinium® HD SNP BeadChip* («Illumina, Inc.», США), содержащих около 600 000 SNP-маркеров. Чтение ДНК-чипов проводили на приборе *iScan Reader* («Illumina, Inc.», США).

Сгенерированные полногеномные SNP-профили и база данных фенотипических признаков были использованы для проведения поиска полногеномных ассоциаций с показателями, характеризующими рост и развитие экспериментальных овец. GWAS выполнен путем регрессионного анализа с использованием обобщенной линейной модели (GLM), реализованной в программе STATISTICA 10. Избранная модель учитывала живую массу при рождении, пол и дату рождения экспериментальных овец, для того чтобы минимизировать влияние внешних факторов. Для подтверждения достоверного влияния SNP был проведен тест для проверки нулевых гипотез по Бонферрони при пороговом значении:

$$p < 1,09 \times 10^{-7}, \frac{0,05}{459868},$$

где 0,05 – уровень значимости, 459868 – SNP, участвовавших в анализе после контроля качества генотипов. Учитывались порог досто-

верности для полногеномных ассоциаций $-\log_{10}(p) = 1,09 \times 10^{-7}$ и порог достоверности для суггестивных ассоциаций $-\log_{10}(p) = 1,02 \times 10^{-5}$.

Поиск генов-кандидатов, локализованных в области идентифицированных SNP выполняли с использованием Ensembl genome browser 110 по сборке генома домашних овец *Oar_rambouillet_v1.0* (GCA_002742125.1). Были исследованы SNP, расположенные внутри генов или попадающие в диапазон («окно») с установленным размером 400 Кб (200 Кб вверх по цепи ДНК и 200 Кб вниз по цепи ДНК). Диапазон был выбран, опираясь на информативность и опыт предыдущих исследований [16]. Функциональная аннотация позиционных генов-кандидатов была выполнена с помощью инструмента DAVID Functional Annotation Bioinformatics (<https://david.ncifcrf.gov/>) и ресурсов NCBI PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Анализ совпадений SNP, идентифицированных в ходе проведения GWAS в популяции экспериментальных овец с известными QTL, выполняли с использованием международной базы данных Sheep Quantitative Trait Locus (QTL) Database (Sheep QTLdb)².

Результаты и их обсуждение. На базе ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста была создана ресурсная (кроссбредная) популяция овец, полученная путем скрещивания овцематок романовской породы и баранов мясной специализированной породы катадин. Подробная информация об исходных формах, участвующих в создании кроссбредной популяции, представлена в ранней публикации [17]. Целевые животные для поиска генов-кандидатов, ассоциированных с размерами туловища, – это возвратные кроссы, полученные от скрещивания овец романовской породы и F1 гибридных баранов (романовская × катадин). В нашей предыдущей работе были выявлены достоверные ассоциации SNP с живой массой у возвратных кроссов [4]. В связи с этим геномные исследования экспериментальных овец были продолжены.

На основе анализа фенотипических параметров было показано, что изменчивость признаков достигала своего пика в возрасте 6 месяцев и снижалась к 9 месяцу (табл. 1). Ширина груди за лопатками имела более выраженную изменчивость по сравнению с другими промерами туловища: 14,31 % при рождении, 16,07 % – в 3 месяцев, 26,01 % – в 6 месяцев и 12,88 % – в 9 месяцев.

²URL: <https://www.animalgenome.org/cgi-bin/QTLdb/OA/index>

Таблица 1 – Фенотипические показатели экспериментальных овец, см /
 Table 1 – Phenotypic parameters of experimental sheep, cm

Показатель / Trait	Возраст / Age	$M \pm m^*$	$C_v, \%$
Высота в холке (ВХ) / Withers height (WH)	При рождении / At birth	35,82±0,25	7,20
	3 мес. / 3 months	49,35±0,38	7,78
	6 мес. / 6 months	52,30±0,81	15,74
	9 мес. / 9 months	58,32±0,38	6,69
Высота в спине (ВС) / Back height (BH)	При рождении / At birth	35,24±0,25	7,30
	3 мес. / 3 months	48,64±0,37	7,80
	6 мес. / 6 months	51,60±0,80	15,75
	9 мес. / 9 months	57,55±0,38	6,66
Высота в крестце (ВК) / Sacral height (SH)	При рождении / At birth	34,54±0,24	7,03
	3 мес. / 3 months	47,83±0,36	7,77
	6 мес. / 6 months	50,90±0,79	15,85
	9 мес. / 9 months	56,84±0,37	6,62
Глубина груди (ГГ) / Chest depth (CD)	При рождении / At birth	10,31±0,09	8,82
	3 мес. / 3 months	16,70±0,18	11,19
	6 мес. / 6 months	17,76±0,36	20,54
	9 мес. / 9 months	20,52±0,20	9,73
Обхват груди (ОГ) / Chest girth (CG)	При рождении / At birth	36,08±0,27	7,65
	3 мес. / 3 months	55,85±0,43	7,87
	6 мес. / 6 months	60,50±1,10	18,55
	9 мес. / 9 months	71,04±0,53	7,64
Ширина груди (ШГ) / Chest width (CW)	При рождении / At birth	5,07±0,07	14,31
	3 мес. / 3 months	8,83±0,14	16,07
	6 мес. / 6 months	9,71±0,25	26,01
	9 мес. / 9 months	11,78±0,15	12,88
Ширина в маклоках (ШМ) / Ischial tuberosity width (EITW)	При рождении / At birth	7,26±0,07	9,94
	3 мес. / 3 months	11,30±0,12	10,64
	6 мес. / 6 months	11,99±0,24	20,49
	9 мес. / 9 months	13,82±0,14	9,98
Обхват пясти (ОП) / Pastern girth (PG)	При рождении / At birth	5,19±0,04	7,53
	3 мес. / 3 months	5,80±0,05	8,89
	6 мес. / 6 months	5,89±0,06	10,01
	9 мес. / 9 months	6,29±0,05	8,18
Длина туловища (ДТ) / Body length (BL)	При рождении / At birth	27,34±0,21	7,75
	3 мес. / 3 months	44,20±0,38	8,69
	6 мес. / 6 months	47,61±0,93	19,94
	9 мес. / 9 months	54,19±0,44	8,28
Косая длина туловища (КДТ) / Oblique body length (OBL)	При рождении / At birth	29,35±0,22	7,80
	3 мес. / 3 months	48,13±0,43	9,13
	6 мес. / 6 months	51,83±1,07	21,05
	9 мес. / 9 months	59,51±0,53	9,16

*М – средняя, m – стандартная ошибка средней, C_v – коэффициент вариации /

*M – is the average, m is the standard error of the average, C_v – is the coefficient of variation

В результате GWAS, проведенного на основе сгенерированных SNP-генотипов и базы данных фенотипов, выявлены достоверные ассоциации SNP с показателями, характеризующими рост и развитие гибридного молодняка

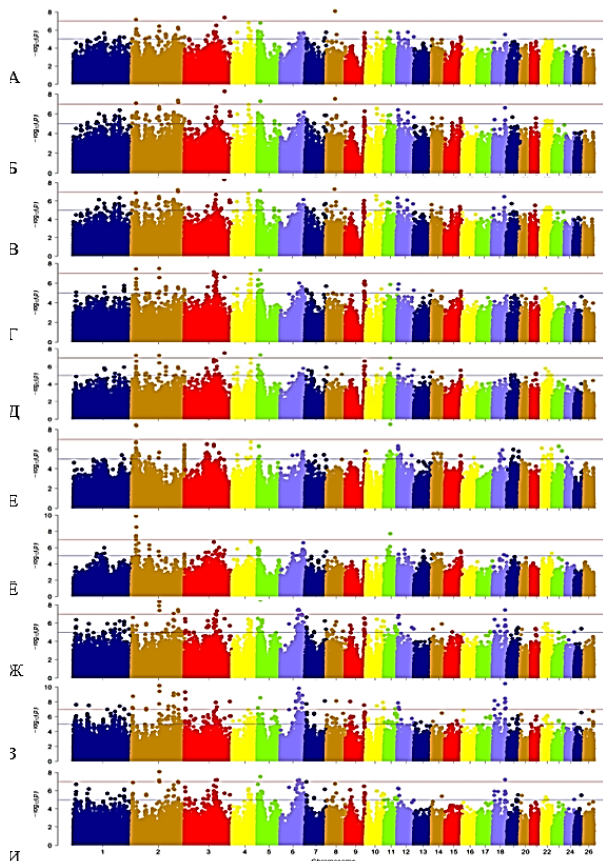


Рис. 1. Результаты GWAS анализа для 10 экстерьерных параметров экспериментальных ягнят из ресурсной популяции при рождении: А – ВХ; Б – ВС; В – ВК; Г – ГГ; Д – ОГ; Е – ШГ; Ё – ШМ; Ж – ОП; З – ДТ; И – КДТ. Верхняя горизонтальная линия – порог достоверности для полногеномных ассоциаций $-\log_{10}(p) = 1,09 \times 10^{-7}$, нижняя горизонтальная линия – порог достоверности для суггестивных ассоциаций $-\log_{10}(p) = 1,02 \times 10^{-5}$

Fig. 1. Results of the GWAS analysis for ten exterior parameters of experimental lambs from the resource population at birth: A – WH; B – BH; C – SH; D – CD; E – CG; F – CW; G – EITW; H – PG; I – BL; J – OBL. The upper horizontal line is the confidence threshold for complete associations $-\log_{10}(p) = 1.09 \times 10^{-7}$, the lower horizontal line is the confidence threshold for suggestive associations $-\log_{10}(p) = 1.02 \times 10^{-5}$

Выявлено, что идентифицированные SNP попадали внутрь или располагались в непосредственной близости от 64 генов, из которых 58 генов были успешно аннотированы. Результаты анализа генной онтологии показали, что 13 генов влияют на рост и развитие организма млекопитающих, в том числе и овец.

овец из группы возвратных кроссов (рис. 1–4). Всего были выявлены 2432 SNP, имеющих достоверные ассоциации с экстерьерными показателями в анализируемые возрастные периоды.

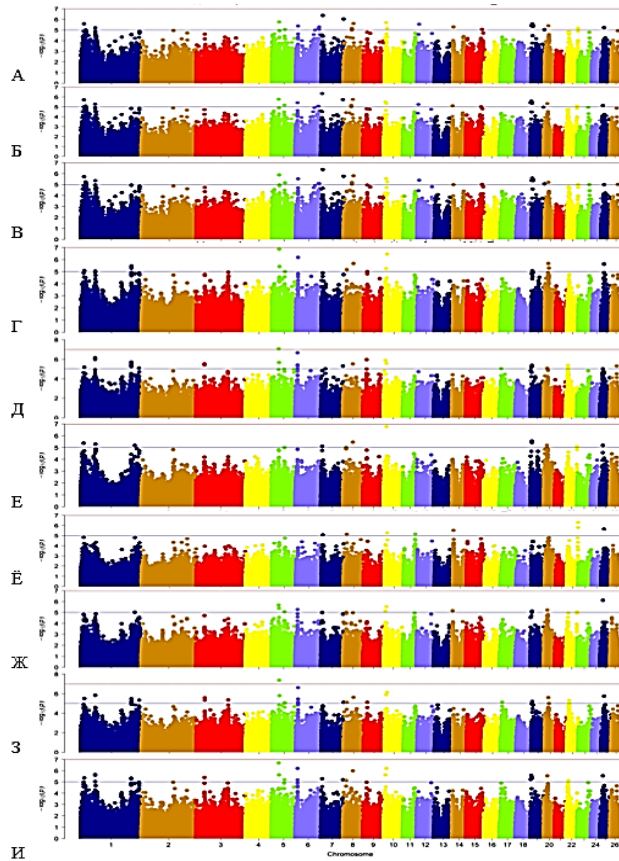


Рис. 2. Результаты GWAS анализа для 10 экстерьерных параметров экспериментальных ягнят из ресурсной популяции в возрасте 3 мес.: А – ВХ; Б – ВС; В – ВК; Г – ГГ; Д – ОГ; Е – ШГ; Ё – ШМ; Ж – ОП; З – ДТ; И – КДТ. Верхняя горизонтальная линия – порог достоверности для полногеномных ассоциаций $-\log_{10}(p) = 1,09 \times 10^{-7}$, нижняя горизонтальная линия – порог достоверности для суггестивных ассоциаций $-\log_{10}(p) = 1,02 \times 10^{-5}$

Fig. 2. The results of the GWAS analysis for ten exterior parameters of experimental lambs from the resource population at the age of 3 months: A – WH; B – BH; C – SH; D – CD; E – CG; F – CW; G – EITW; H – PG; I – BL; J – OBL. The upper horizontal line is the confidence threshold for genome-wide associations $-\log_{10}(p) = 1.09 \times 10^{-7}$, the lower horizontal line is the confidence threshold for suggestive associations $-\log_{10}(p) = 1.02 \times 10^{-5}$

Выявлены ассоциации с показателями роста и развития ягнят в ранний постнатальный период (в 6 дней) (табл. 2). SNP внутри гена *RAB28* достоверно связан с ШМ, а SNP внутри гена *PRKAG3* – с ДТ. Пять SNP внутри гена *FOXO3* достоверно ассоциированы с ДТ. Ген *RAB28* (*RAB28*, member *RAS* oncogene

family) влияет на развитие мышц [18], *PRKAG3* (protein kinase AMP-activated non-catalytic subunit gamma 3) играет ключевую роль в энергетическом метаболизме скелетных мышц [19], ген *FOXO3* (forkhead box O3) участвует в росте и дифференцировке скелетных мышц [20].

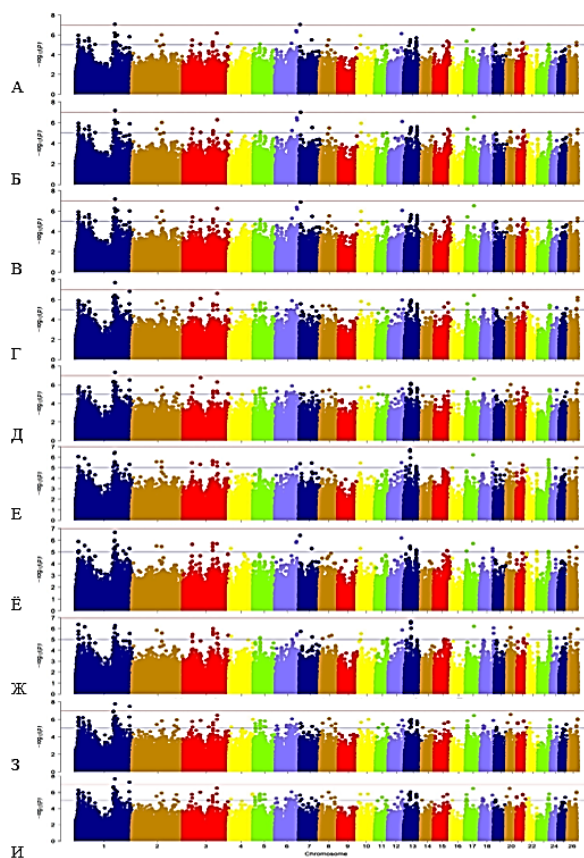


Рис. 3. Результаты GWAS анализа для 10 экстерьерных параметров экспериментальных ягнят из ресурсной популяции в возрасте 6 мес.: А – ВХ; Б – ВС; В – ВК; Г – ГГ; Д – ОГ; Е – ШГ; Ё – ШМ; Ж – ОП; З – ДТ; И – КДТ. Верхняя горизонтальная линия — порог достоверности для полногеномных ассоциаций $-\log_{10}(p) = 1,09 \times 10^{-7}$, нижняя горизонтальная линия — порог достоверности для суггестивных ассоциаций $-\log_{10}(p) = 1,02 \times 10^{-5}$ /

Fig. 3. The results of the GWAS analysis for ten exterior parameters of experimental lambs from the resource population at the age of 6 month: A – WH; B – BH; C – SH; D – CD; E – CG; F – CW; G – EITW; H – PG; I – BL; J – OBL. The upper horizontal line is the confidence threshold for complete associations $-\log_{10}(p) = 1.09 \times 10^{-7}$, the lower horizontal line is the confidence threshold for suggestive associations $-\log_{10}(p) = 1.02 \times 10^{-5}$

В нашей работе SNP внутри гена *SCD5* и SNP вблизи от гена *CAST* достоверно ассоциированы с показателями ОП, ДТ и КДТ. Гены *CAST* (calpastatin) и *SCD5* (stearoyl-CoA desaturase 5) – это известные функциональные кандидаты, ассоциированные с признаками роста и развития у овец [21, 22, 23]. Так, одно из последних исследований было сфокусировано на оценке частоты встречаемости аллелей в

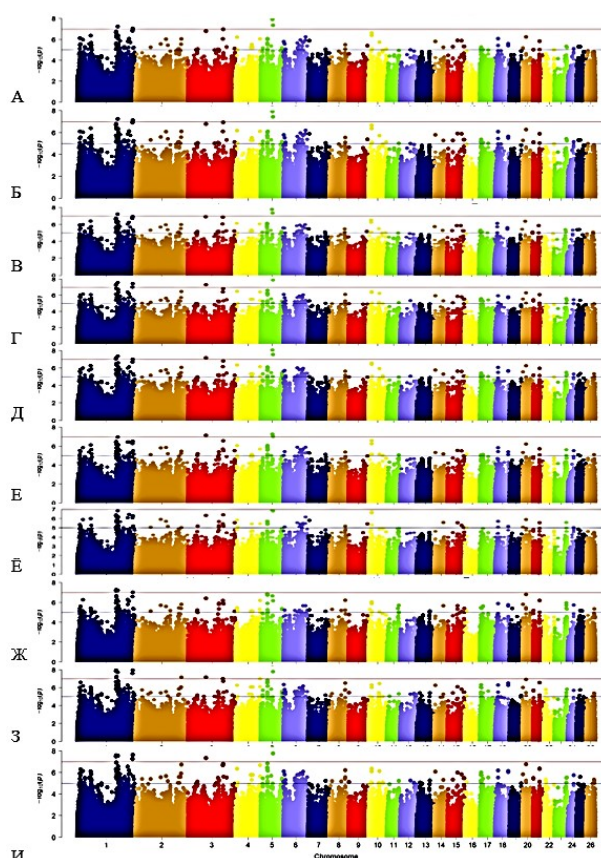


Рис. 4. Результаты GWAS анализа для десяти экстерьерных параметров экспериментальных ягнят из ресурсной популяции в возрасте 9 мес.: А – ВХ; Б – ВС; В – ВК; Г – ГГ; Д – ОГ; Е – ШГ; Ё – ШМ; Ж – ОП; З – ДТ; И – КДТ. Верхняя горизонтальная линия — порог достоверности для полногеномных ассоциаций $-\log_{10}(p) = 1,09 \times 10^{-7}$, нижняя горизонтальная линия — порог достоверности для суггестивных ассоциаций $-\log_{10}(p) = 1,02 \times 10^{-5}$ /

Fig. 4. The results of the GWAS analysis for ten exterior parameters of experimental lambs from the resource population at the age of 9 months: A – WH; B – BH; C – SH; D – CD; E – CG; F – CW; G – EITW; H – PG; I – BL; J – OBL. The upper horizontal line is the confidence threshold for complete associations $-\log_{10}(p) = 1.09 \times 10^{-7}$, the lower horizontal line is the confidence threshold for suggestive associations $-\log_{10}(p) = 1.02 \times 10^{-5}$

интроне 12 гена *CAST* у растущих ягнят из двух синтетических мясных линий ВСР (37,5 % польская низинная, 12,5 % финншип, или романовская, 25 % берришон-дю-шер, 25 % шароле) и SCP (37,5 % польская низинная, 12,5 % финншип, или романовская, 25 % суффолк, 25 % шароле) и их влияния на откормочные показатели [21]. На основе высокоплотных SNP-генотипов С. С. Сюй с соавт.

(S. S. Xu et al.) проводили поиск локусов, находящихся под давлением селекции и ассоциированных с хозяйственно полезными фенотипами у овец различных пород. Показано, что ген *SCD5* находился под давлением селекции

при сравнении казахской эдильбаевской и шетландской пород овец и связан с размерами туловища [22]. Далее было подтверждено достоверное влияние SNP в гене *SCD5* на промеры туловища в популяции аккараманских овец [23].

Таблица 2 – Список SNP, достоверно ассоциированных с экстерьерными показателями экспериментальных ягнят в возрасте 6 дней и 3 месяцев /

Table 2 – SNPs significantly associated with exterior characteristics of experimental lambs aged 6 days and 3 months

<i>OAR</i>	<i>Ген / Gene</i>	<i>SNP</i>	<i>Возраст / Age</i>	<i>Показатель, уровень достоверности / Trait, p-value</i>
2	<i>PRKAG3</i>	oar3_OAR2_219782879	6 дней / 6 days	ДТ / BL (p<2,92×10 ⁻⁰⁵)
5	<i>CAST</i>	oar3_OAR5_93484413		ОП / PG (p<5,72×10 ⁻⁰⁵)
				ДТ / BL (p<1,53×10 ⁻⁰⁵)
				КДТ / OBL (p<4,81×10 ⁻⁰⁵)
				ШМ / EITW (p<9,66×10 ⁻⁰⁶)
6	<i>RAB28</i>	oar3_OAR6_108217402		ОП / PG (p<1,83×10 ⁻⁰⁵)
6	<i>SCD5</i>	oar3_OAR6_97114805		ДТ / BL (p<5,57×10 ⁻⁰⁷)
				КДТ / OBL (p<9,90×10 ⁻⁰⁶)
				КДТ / OBL (p<9,71×10 ⁻⁰⁵)
6	<i>HTT</i>	s08828.1		ДТ / BL (p<2,20×10 ⁻⁰⁵)
8	<i>SLC17A5</i>	oar3_OAR8_150260		ДТ / BL (p<6,89×10 ⁻⁰⁶)
8	<i>FOXO3</i>	oar3_OAR8_28635814	ДТ / BL (p<6,89×10 ⁻⁰⁶)	
		oar3_OAR8_28652605	ДТ / BL (p<3,90×10 ⁻⁰⁵)	
		oar3_OAR8_28669362	ДТ / BL (p<3,90 ×10 ⁻⁰⁵)	
		oar3_OAR8_28670950	ДТ / BL (p<6,89×10 ⁻⁰⁶)	
		OAR8_31096155.1		
22	<i>ANKRD1</i>	oar3_OAR22_12269891	3 мес. / 3 months	ОГ / CG (p<3,44×10 ⁻⁰⁵)
		s62238.1		ОГ / CG (p<4,60×10 ⁻⁰⁵)

Примечание: жирным шрифтом выделены SNP, локализованные внутри гена; другие SNP располагались в непосредственной близости от гена (размер окна ± 200 Кб); OAR – хромосома овец /

Note: the SNPs localized inside the gene are highlighted in bold; other SNPs were located in close proximity to the gene (window size ± 200 KB); OAR chromosome of sheep

Выявлены достоверные ассоциации SNP, локализованного в непосредственно близости от гена *HTT* (huntingtin), на OAR6 с КДТ, и SNP внутри гена *SLC17A5* (solute carrier family 17 member 5) на OAR8 с ДТ. Известно, что дефекты в обоих генах приводят к существенной задержке роста, в связи с чем можно предположить их потенциальное влияние на нормальный рост ягнят в ранний постнатальный период [24, 25].

Достоверная ассоциация была выявлена между ОГ в возрасте 3 месяцев с oar3_OAR22_12269891 вблизи и s62238.1 внутри гена *ANKRD1* (ankyrin repeat domain 1), определяющего структурные свойства мяса и, следовательно, влияющего на развитие скелетных мышц [26].

Кроме того, выявлены полногеномные ассоциации с промерами туловища экспериментальных овец в возрасте 6 и 9 месяцев (табл. 3).

Таблица 3 – Список SNP, достоверно ассоциированных с показателями, характеризующими рост и развитие экспериментальных ягнят в возрасте 6 и 9 месяцев /

Table 3 –SNPs significantly associated with exterior characteristics of experimental lambs aged 6 and 9 months

OAR	Ген / Gene	SNP	Ассоциация с показателем / Association with trait	
			6 мес. / 6 months	9 мес. / 9 months
1	2	3	4	5
1	FGF12	oar3_OAR1_193266252	ОП / PG ($p<9,03\times10^{-05}$) ДТ / BL ($p<4,11\times10^{-06}$) КДТ / OBL ($p<6,35\times10^{-06}$) ВХ / WH ($p<4,61\times10^{-05}$) БК / SH ($p<3,43\times10^{-05}$) BC / BH ($p<3,83\times10^{-05}$)	ОП / PG ($p<3,91\times10^{-06}$) ДТ / BL ($p<9,87\times10^{-07}$) КДТ / OBL ($p<2,07\times10^{-06}$) ВХ / WH ($p<6,35\times10^{-06}$) БК / SH ($p<7,16\times10^{-06}$) BC / BH ($p<6,28\times10^{-06}$) ГГ / CD ($p<2,10\times10^{-06}$) ОГ / CG ($p<4,95\times10^{-06}$)
1	FGF12	oar3_OAR1_193315524	ОП / PG ($p<9,03\times10^{-05}$) ДТ / BL ($p<4,11\times10^{-06}$) КДТ / OBL ($p<6,35\times10^{-06}$) ВХ / WH ($p<4,61\times10^{-05}$) БК / SH ($p<3,43\times10^{-05}$) BC / BH ($p<3,83\times10^{-05}$)	ОП / PG ($p<3,91\times10^{-06}$) ДТ / BL ($p<9,87\times10^{-07}$) КДТ / OBL ($p<2,07\times10^{-06}$) ВХ / WH ($p<6,35\times10^{-06}$) БК / SH ($p<7,16\times10^{-06}$) ГГ / CD ($p<2,10\times10^{-06}$) ОГ / CG ($p<4,95\times10^{-06}$)
1	FGF12	oar3_OAR1_193394498	ГГ / CD ($p<4,70\times10^{-07}$) ОГ / CG ($p<5,97\times10^{-07}$) ШГ / CW ($p<4,38\times10^{-06}$) ШМ / EITW ($p<5,47\times10^{-06}$) ДТ / BL ($p<4,23\times10^{-07}$) КДТ / OBL ($p<5,54\times10^{-07}$) ВХ / WH ($p<1,57\times10^{-06}$) БК / SH ($p<1,27\times10^{-06}$) BC / BH ($p<1,28\times10^{-06}$)	ГГ / CD ($p<1,93\times10^{-07}$) ОГ / CG ($p<2,73\times10^{-07}$) ШГ / CW ($p<8,85\times10^{-07}$) ШМ / EITW ($p<7,82\times10^{-07}$) ДТ / BL ($p<1,88\times10^{-07}$) КДТ / OBL ($p<2,76\times10^{-07}$) ВХ / WH ($p<4,95\times10^{-07}$) БК / SH ($p<5,45\times10^{-07}$) BC / BH ($p<5,11\times10^{-07}$) ОП / PG ($p<7,28\times10^{-07}$)
1	FGF12	oar3_OAR1_193419679	ДТ / BL ($p<7,20\times10^{-05}$)	-
1	FGF12	oar3_OAR1_193427113	ГГ / CD ($p<4,11\times10^{-07}$) ОГ / CG ($p<5,53\times10^{-07}$) ШГ / CW ($p<2,89\times10^{-06}$) ШМ / EITW ($p<3,73\times10^{-06}$) ОП / PG ($p<7,07\times10^{-06}$) ДТ / BL ($p<4,05\times10^{-07}$) КДТ / OBL ($p<4,83\times10^{-07}$) ВХ / WH ($p<1,29\times10^{-06}$) БК / SH ($p<1,07\times10^{-06}$) BC / BH ($p<1,07\times10^{-06}$)	ГГ / CD ($p<2,39\times10^{-07}$) ОГ / CG ($p<2,74\times10^{-07}$) ШГ / CW ($p<6,77\times10^{-07}$) ШМ / EITW ($p<6,46\times10^{-07}$) ОП / PG ($p<8,26\times10^{-07}$) ДТ / BL ($p<2,17\times10^{-07}$) КДТ / OBL ($p<2,92\times10^{-07}$) ВХ / WH ($p<4,27\times10^{-07}$) БК / SH ($p<4,39\times10^{-07}$) BC / BH ($p<4,59\times10^{-07}$)
1	CLDN1	oar3_OAR1_195277617	ДТ / BL ($p<6,53\times10^{-06}$) КДТ / OBL ($p<8,42\times10^{-06}$) ВХ / WH ($p<3,84\times10^{-05}$) БК / SH ($p<3,00\times10^{-05}$) BC / BH ($p<3,17\times10^{-05}$)	ДТ / BL ($p<5,36\times10^{-06}$) КДТ / OBL ($p<7,04\times10^{-06}$) ВХ / WH ($p<9,00\times10^{-06}$) ОГ / CG ($p<8,08\times10^{-06}$) ШГ / CW ($p<3,21\times10^{-05}$) ШМ / EITW ($p<6,16\times10^{-05}$) ОП / PG ($p<7,84\times10^{-05}$) ГГ / CD ($p<5,48\times10^{-06}$)

1	2	3	4	5
1	<i>CLDNI</i>	oar3_OAR1_195278761	ДТ / BL ($p < 6,53 \times 10^{-06}$) КДТ / OBL ($p < 8,42 \times 10^{-06}$) ВХ / WH ($p < 3,84 \times 10^{-05}$) БК / SH ($p < 3,00 \times 10^{-05}$) ВС / BH ($p < 3,17 \times 10^{-05}$)	ДТ / BL ($p < 5,36 \times 10^{-06}$) КДТ / OBL ($p < 7,04 \times 10^{-06}$) ВХ / WH ($p < 9,00 \times 10^{-06}$) ГГ / CD ($p < 5,48 \times 10^{-06}$) ОГ / CG ($p < 8,08 \times 10^{-06}$) ШГ / CW ($p < 3,21 \times 10^{-05}$) ШМ / EITW ($p < 6,16 \times 10^{-05}$) ОП / PG ($p < 7,84 \times 10^{-05}$)
1	<i>CLDNI</i>	oar3_OAR1_195290699	ДТ / BL ($p < 6,53 \times 10^{-06}$) КДТ / OBL ($p < 8,42 \times 10^{-06}$) ВХ / WH ($p < 3,84 \times 10^{-05}$) БК / SH ($p < 3,00 \times 10^{-05}$) ВС / BH ($p < 3,17 \times 10^{-05}$)	ДТ / BL ($p < 5,36 \times 10^{-06}$) КДТ / OBL ($p < 7,04 \times 10^{-06}$) ВХ / WH ($p < 9,00 \times 10^{-06}$) ГГ / CD ($p < 5,48 \times 10^{-06}$) ОГ / CG ($p < 8,08 \times 10^{-06}$) ШГ / CW ($p < 3,21 \times 10^{-05}$) ШМ / EITW ($p < 6,16 \times 10^{-05}$) ОП / PG ($p < 7,84 \times 10^{-05}$)
5	<i>CAST</i>	oar3_OAR5_93414856	ДТ / BL ($p < 7,43 \times 10^{-05}$) КДТ / OBL ($p < 6,17 \times 10^{-05}$)	ДТ / BL ($p < 2,22 \times 10^{-05}$) ШГ / CW ($p < 2,51 \times 10^{-05}$) ШМ / EITW ($p < 2,36 \times 10^{-05}$) ОП / PG ($p < 3,79 \times 10^{-05}$)
6	<i>MYOZ2</i>	oar3_OAR6_6272186	-	ДТ / BL ($p < 8,25 \times 10^{-05}$)
6	<i>ALB</i>	oar3_OAR6_88135760	-	ШМ / EITW ($p < 7,43 \times 10^{-05}$) КДТ / OBL ($p < 2,81 \times 10^{-05}$) ВХ / WH ($p < 5,58 \times 10^{-05}$) ВС / BH ($p < 5,19 \times 10^{-05}$)
13	<i>MRC1</i>	oar3_OAR13_31446454	ГГ / CD ($p < 1,20 \times 10^{-06}$) ОГ / CG ($p < 9,16 \times 10^{-07}$) ШГ / CW ($p < 1,16 \times 10^{-06}$) ОП / PG ($p < 9,62 \times 10^{-07}$) ДТ / BL ($p < 1,03 \times 10^{-06}$) КДТ / OBL ($p < 9,34 \times 10^{-07}$) ВХ / WH ($p < 3,10 \times 10^{-06}$) БК / SH ($p < 2,49 \times 10^{-06}$) ВС / BH ($p < 3,07 \times 10^{-06}$)	-

Примечание: жирным шрифтом выделены SNP, локализованные внутри гена; другие SNP располагались в непосредственной близости от гена (размер окна ± 100 Кб); OAR – хромосома овец /

Note: the SNPs localized inside the gene are highlighted in bold; other SNPs were located in close proximity to the gene (window size ± 100 KB); OAR chromosome of sheep

Выявлены достоверные ассоциации 5 SNP, расположенных внутри и вблизи от гена *FGF12*, 3 SNP, локализованных внутри и вблизи от гена *CLDN*, SNP внутри гена *CAST*, SNP внутри гена *MRC1* и SNP вблизи гена *ALB* с экстерьерными показателями овец в возрасте 6 и 9 месяцев. Известно, что ген *FGF12* (fibroblast growth factor 12) участвует в биологической регуляции процессов роста суставных хрящей [27]. Гены *ALB* (albumin), *CLDN* (claudin 1) и *MRC1* (mannose receptor C-type 1) вовлечены в метаболические процессы, явля-

ющиеся критическими для нормального роста сельскохозяйственных животных. Ген *ALB* вовлечен в метаболизм жирных кислот и кодирует печеночный белок альбумин, связанный с функциональностью печени [28]. Кроме того, известно, что этот ген ответствен за изменение эффективности потребления корма у крупного рогатого скота [29], что может быть экстраполировано на овец, которые также принадлежат к жвачным животным. Ген *CLDN1* участвует в формировании и работе органов пищеварительного тракта [30].

Ген *MRC1* связан с отложениями внутримышечного жира [31]. Также было выявлено, что SNP внутри гена *MYOZ2* (myozenin 2), регулирующего дифференцировку миообластов скелетных мышц [32], достоверно ассоциированы с ДТ в возрасте 9 месяцев.

В результате проведения анализа Sheep QTLdb выявлено, что часть идентифицированных достоверно значимых SNP располагалась в области известных QTL, связанных с показателями, характеризующими рост и развитие овец (табл. 4).

Таблица 4 – Количество SNP, ассоциированных с параметрами экстерьера, расположенных в области известных QTL у овец /
Table 4 – Number of SNPs associated with exterior traits located in the area of known sheep QTL

OAR	n SNP	Категория QTL / QTL category	QTL ID
1	466	Масса мышечной ткани в туше / Muscle weight in carcass	#14276, # 14319
13	63		#14301
1	30		#14322, #14321, #14249
3	8	Масса костей / Bone weight in carcass	#95815, #95811, #95812, #95813, #95818
6	3		#95793, #95779
10	52		#14293
12	4		#95808, #95807
2	66		#13678, #13679, #13680
1	27	Экстерьер/конституция / Exterior/ Stature	#14180
5	44		
1	57	Глубина мышцы над 3-м поясничным позвонком / Muscle depth at third lumbar	#14240
1	2		#13696
2	1	Область длиннейшей мышцы спины / Longissimus muscle area	#13726
2	2		#13719, #13720
7	19		#14287
7	17		#14262
2	384		#14280, #14279
6	303	Масса туши / Body weight (slaughter)	#14284
9	53		#14290
11	43		#14296
23	8		#14312, #14311
3	62	Живая масса / Body weight (live)	#13927
3	94		#13787
4	14		#17232
5	238		#12934
5	54		#12935
11	5		#17234
1	1	Ширина груди / Chest width	#166287
2	25	Ширина крупа / Rump width	#14179
2	7	Вес задней четвертины / Hindquarter weight	#14161

Примечание: OAR – хромосома овец; n SNP – количество SNP, пересекающихся с QTL; QTL ID – идентификационный номер QTL в базе данных Sheep QTLdb /

Note: OAR is the sheep chromosome; n SNP is the number of SNPs intersecting with QTL; QTL ID is the QTL identification number in the Sheep QTLdb database

Больше всего SNP были расположены в области QTL, имеющих категории «Масса туши» (791), «Масса мышечной ткани в туше» (529), «Живая масса» (467) и «Масса костей» (163). Меньшее число SNP попадали в QTL, связанных с экстерьером (71), глубиной мышцы над третьим поясничным позвонком (59), областью длиннейшей мышцы спины (39), шириной крупа (25) и весом задней четвертины туши (7). Один SNP, достоверно ассоциированный с размерами грудной клетки, располагался вблизи QTL (на расстоянии 200 Kb), связанного с шириной груди (ID #166287).

Следует отметить, что два методических подхода были использованы при картировании QTL, представленных в таблице 4. В основе первого подхода лежал выбор сложного объекта исследования. Например, QTL #17232 и #17234 были обнаружены с помощью модели мульти-маркерной регрессии в 10 семьях полусибсов породы меринос [33], а QTL #13696 – в 3 семьях полусибсов породы суффолк и 9 семьях полусибсов породы тексель [34]. В популяции возвратных кроссов (авасси х меринос) х меринос с использованием микросателлитов были найдены QTL #14249 – #14322 [35] и #13927 [36]. Кроме того, QTL #14161 описан впервые в F2 ресурсной популяции (романовская х тексель) с использованием регрессионного анализа [37].

Для реализации второго подхода были применены более современные платформы для генотипирования и более информативные методы расчета корреляций генотипических и фенотипических данных. Так, QTL #166287 был выявлен методом GWAS с использованием ДНК-чипов Illumina OvineSNP50 BeadChip в популяции чистопородных овец мерино-ландшафт и помесей с шароле, иль-де-франс, тексель, суффолк [38], а #95811-#95818 –

в популяции ягнят шотландской черномордой породы [9]. В нашей работе были объединены сильные стороны обоих подходов, что позволило подтвердить выявленные ранее QTL и найти геномные регионы, имеющие достоверные ассоциации с признаками роста и развития у овец, не описанными ранее.

Заключение. Таким образом, в результате проведения полногеномных ассоциативных исследований в кроссбредной популяции овец, созданных на основе скрещивания овцематок романовской породы и F1 гибридных баранов (романовская овца х катадин), выявлены 64 гена. Анализ литературных источников показал, что 13 генов влияют на процессы роста и развития сельскохозяйственных животных. Локализация идентифицированных SNP внутри известных QTL подтверждает эффективность избранного методического подхода.

Следует отметить, что целевые SNP, демонстрирующие достоверные ассоциации с размерами туловища и расположенные внутри или вблизи генов с установленным влиянием (*CAST*) и известных функциональных кандидатов у овец (*SCD5*), могут быть рекомендованы для ведения маркер-ориентированной селекции.

Гены *RAB28*, *PRKAG3* и *FOXO3* связаны с важными биологическими процессами роста и развития организма сельскохозяйственных животных, но при этом ранее не были известны как функциональные кандидаты у овец. Учитывая, что нами были выявлены достоверные ассоциации локализованных в этих генах SNP с экстерьерными показателями экспериментальных овец из ресурсной популяции, эти гены можно рекомендовать как потенциальные кандидаты, связанные с процессами роста и развития овец, для включения в программы маркер-ориентированной селекции в овцеводстве.

References

1. Самусенко Л. Д. Стратегические направления в развитии продукции овцеводства. Вестник сельского развития и социальной политики. 2021;1(29):6–8. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45619675> EDN: DYYYIW
- Samusenko L. D. Strategic directions in the development of sheep products. *Vestnik sel'skogo razvitiya i sotsial'noy politiki*. 2021;1(29):6–8. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45619675>
2. Rowe J. B. The Australian sheep industry—undergoing transformation. *Animal Production Science*. 2010;50(12):991–997. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN10142>
3. Safari E., Fogarty N. M., Gilmour A. R. A review of genetic parameter estimates for wool, growth, meat and reproduction traits in sheep. *Livestock Production Science*. 2005;92(3):271–289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.09.003>
4. Денискова Т. Е., Петров С. Н., Сермягин А. А., Доцев А. В., Форнара М. С., Reyer H., Wimmers K., Багиров В. А., Brem G., Зиновьева Н. А. Поиск геномных вариантов, ассоциированных с живой массой у овец, на основе анализа высокоплотных SNP генотипов. Сельскохозяйственная биология. 2021;56(2):279–291. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2021.2.279rus> EDN: XEJUPA

Deniskova T. E., Petrov S. N., Sermyagin A. A., Dotsev A. V., Fornara M. S., Reyer H., Wimmers K., Bagirov V. A., Brem G., Zinovieva N. A. A search for genomic variants associated with body weight in sheep based on high density SNP genotypes analysis. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2021;56(2):279–291. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.2.279rus>

5. Talebi R., Ghaffari M. R., Zeinalabedini M., Abdoli R., Mardi M. Genetic basis of muscle-related traits in sheep: A review. *Animal Genetics*. 2022;53(6):723–739. DOI: <https://doi.org/10.1111/age.13266>

6. Kongsro J., Roe M., Kvaal K., Aastveit A. H., Egelanddal B. Prediction of fat, muscle and value in Norwegian lamb carcasses using EUROP classification, carcass shape and length measurements, visible light reflectance and computer tomography (CT). *Meat science*. 2009;81(1):102–107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.004>

7. Raschia M. A., Maizon D. O., Amadio A. F., Nani J. P., Poli M. A. Quantitative trait loci exploration and characterization of gestation length in Holstein cattle. *Theriogenology*. 2024;215:43–49.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2023.11.012>

8. Зиновьева Н. А., Костюнина О. В., Гладырь Е. А., Банникова А. Д., Харзинова В. Р., Ларионова П. В., Шавырина К. М., Эрнст Л. К. Роль ДНК-маркеров признаков продуктивности сельскохозяйственных животных. *Зоотехния*. 2010;1:8–10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13016576> EDN: JWJHPV

Zinovieva N. A., Kostyunina O. V., Gladyr E. A., Bannikova A. D., Kharzinova V. R., Larionova P. V., Shavyrina K. M., Ernst L. K. The role of DNA markers of signs of productivity of farm animals. *Zootekhnika*. 2010;1:8–10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13016576>

9. Matika O., Riggio V., Anselme-Moizan M., Law A. S., Pong-Wong R., Archibald A. L., Bishop S. C. Genome-wide association reveals QTL for growth, bone and in vivo carcass traits as assessed by computed tomography in Scottish Blackface lambs. *Genetics, selection, evolution*. 2016;48:11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-016-0191-3>

10. Li Y., Yang H., Guo J., Yang Y., Yu Q., Guo Y., Zhang C., Wang Z., Zuo P. Uncovering the candidate genes related to sheep body weight using multi-trait genome-wide association analysis. *Frontiers in veterinary science*. 2023;10:1206383. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1206383>

11. Cinar M. U., Arslan K., Sohel M. M. H., Bayram D., Piel L. M. W., White S. N., Daldaban F., Aksel E. G., Akyüz B. Genome-wide association study of early liveweight traits in fat-tailed Akkaraman lambs. *PloS one*. 2023;18(11):e0291805. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291805>

12. Li C., Li J., Wang H., Zhang R., An X., Yuan C., Guo T., Yue Y. Genomic Selection for Live Weight in the 14th Month in Alpine Merino Sheep Combining GWAS Information. *Animals*. 2023;13(22):3516.

DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13223516>

13. Криворучко А. Ю., Зуев Р. В., Суров А. И., Скокова А. В., Каниболоцкая А. А., Лиховид А. А., Яцык О. А. Полногеномный поиск новых генов-кандидатов мясной продуктивности у овец северокавказской мясошерстной породы. *Генетика*. 2023;59(5):562–572. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016675823050090> EDN: FNVKYA

Krivoruchko A. Yu., Zuev R. V., Surov A. I., Skokova A. V., Kanibolotskaya A. A., Likhovid A. A., Yatsyk O. A. A genome-wide search of new meat productivity candidate genes in north caucasian meat and wool sheep breed. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2023;59(5):562–572. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016675823050090>

14. Егорова Т. Ю., Криворучко А. Ю., Скокова А. В., Кухарук М. Ю., Каниболоцкая А. А., Яцык О. А. Полиморфизмы, ассоциированные с параметрами фенотипа у джалгинских меринсов. *Достижения науки и техники АПК*. 2023;37(10):59–64. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_10_59 EDN: DBFBZE

Egorova T. Yu., Krivoruchko A. Yu., Skokova A. V., Kukharuk M. Yu., Kanibolotskaya A. A., Yatsyk O. A. Polymorphisms associated with phenotypic parameters in dzhalg merino sheep. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2023;37(10):59–64. (In Russ.).

DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_10_59

15. Кириченко А. В., Злобин А. С., Шашкова Т. И., Волкова Н. А., Иолчиев Б. С., Багиров В. А., Бородин П. М., Карссен Л. С., Цепилов Я. А., Аульченко Ю. С. Платформа GWAS-MAP|ovis для хранения и анализа результатов полногеномных ассоциативных исследований овец. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;26(4):378–384. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-46> EDN: RWNID

Kirichenko A. V., Zlobin A. S., Shashkova T. I., Volkova N. A., Iolchiev B. S., Bagirov V. A., Borodin P. M., Karssen L. S., Tsepilov Ya. A., Aulchenko Yu. S. The GWAS-MAP|ovis platform for aggregation and analysis of genome-wide association study results in sheep. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2022;26(4):378–384. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-46>

16. Zinovieva N. A., Dotsev A. V., Sermyagin A. A., Deniskova T. E., Abdelmanova A. S., Kharzinova V. R., Sölkner J., Reyer H., Wimmers K., Brem G. Selection signatures in two oldest Russian native cattle breeds revealed using high-density single nucleotide polymorphism analysis. *PloS one*. 2020;15(11):e0242200.

DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242200>

17. Денискова Т. Е., Доцев А. В., Петров С. Н., Форнара М. С., Рейер Х., Виммерс К., Багиров В. А., Брем Г., Зиновьева Н. А. Геномная оценка и фенотипическая характеристика F2 ресурсной популяции овец. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(5):498–507. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.498-507> EDN: TWNBSF

Deniskova T. E., Dotsev A. V., Petrov S. N., Fornara M. S., Reyer H., Wimmers K., Bagirov V. A., Brem G., Zinovieva N. A. Genomic assessment and phenotypic characteristics of F2 resource sheep population. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(5):498–507. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.498-507>

18. Crispim A. C., Kelly M. J., Facioni Guimarães S. E., Fonseca e Silva F., Salinas Fortes M. R., Wenceslau R. R., Moore S. Multi-Trait GWAS and New Candidate Genes Annotation for Growth Curve Parameters in Brahman Cattle. *PloS one*. 2015;10(10):e0139906. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139906>
19. Frezarim G. B., Fonseca L. F. S., Salatta B. M., Silva D. B. S., Bresolin T., Oliveira Seno L., Barufatti A., Ferro J. A., Albuquerque L. G. Genes and proteins associated with ribeye area and meat tenderness in a commercial Nellore cattle population. *Genome*. 2022;65(4):229–240. DOI: <https://doi.org/10.1139/gen-2020-0163>
20. de Las Heras-Saldana S., Chung K. Y., Kim H., Lim D., Gondro C., van der Werf J. H. J. Differential Gene Expression in Longissimus Dorsi Muscle of Hanwoo Steers-New Insight in Genes Involved in Marbling Development at Younger Ages. *Genes*. 2020;11(11):1381. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes11111381>
21. Greguła-Kania M., Gruszecki T. M., Junkuszew A., Juszczuk-Kubiak E., Florek M. Association of CAST gene polymorphism with carcass value and meat quality in two synthetic lines of sheep. *Meat science*. 2019;154:69–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.007>
22. Xu S. S., Gao L., Shen M., Lyu F. Whole-Genome Selective Scans Detect Genes Associated With Important Phenotypic Traits in Sheep (*Ovis aries*). *Frontiers in genetics*. 2021;12:738879. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.738879>
23. Kizilaslan M., Arzik Y., White S. N., Piel L. M. W., Cinar M. U. Genetic Parameters and Genomic Regions Underlying Growth and Linear Type Traits in Akkaraman Sheep. *Genes*. 2022;13(8):1414. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes13081414>
24. Lu A. T., Narayan P., Grant M. J., Langfelder P., Wang N., Kwak S., Wilkinson H., Chen R. Z., Chen J., Simon Bawden C., Rudiger S. R., Ciosi M., Chatzi A., Maxwell A., Hore T. A., Aaronson J., Rosinski J., Preiss A., Vogt T. F., Coppola G., Monckton D., Snell R. G., William Yang X., Horvath S. DNA methylation study of Huntington's disease and motor progression in patients and in animal models. *Nature Communication*. 2020;11(1):4529. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18255-5>
25. Harb J. F., Christensen C. L., Kan S. H., Rha A. K., Andrade-Heckman P., Pollard L., Steet R., Huang J. Y., Wang R. Y. Base editing corrects the common Salla disease SLC17A5 c.115C>T variant. *Mol Ther Nucleic Acids*. 2023;34:102022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omtn.2023.08.024>
26. Ponsuksili S., Murani E., Phatsara C., Schwerin M., Schellander K., Wimmers K. Porcine muscle sensory attributes associate with major changes in gene networks involving CAPZB, ANKRD1, and CTBP2. *Functional Integrative Genomics*. 2009;9(4):455–471. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10142-009-0131-1>
27. Alvarenga A. B., Retallick K. J., Garcia A., Miller S. P., Byrne A., Oliveira H. R., Brito L. F. Across-country genetic and genomic analyses of foot score traits in American and Australian Angus cattle. *Genetics Selection Evolution*. 2023;55(1):76. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-023-00850-x>
28. Pascottini O. B., De Koster J., Van Nieuwerburgh F., Van Poucke M., Peelman L., Fievez V., Leroy J. L. M. R., Opsomer G. Effect of overconditioning on the hepatic global gene expression pattern of dairy cows at the end of pregnancy. *Journal of Dairy Sciences*. 2021;104(7):8152–8163. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19302>
29. Yang C., Ding Y., Dan X., Shi Y., Kang X. Multi-transcriptomics reveals RLMF axis-mediated signaling molecules associated with bovine feed efficiency. *Frontiers in veterinary science*. 2023;10:1090517. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1090517>
30. Hu R., Zou H., Wang Z., Cao B., Peng Q., Jing X., Wang Y., Shao Y., Pei Z., Zhang X., Xue B., Wang L., Zhao S., Zhou Y., Kong X. Nutritional Interventions Improved Rumen Functions and Promoted Compensatory Growth of Growth-Retarded Yaks as Revealed by Integrated Transcripts and Microbiome Analyses. *Frontiers in Microbiology*. 2019;10:318. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00318>
31. Clark D. L., Boler D. D., Kutzler L. W., Jones K. A., McKeith F. K., Killefer J., Carr T. R., Dilger A. C. Muscle gene expression associated with increased marbling in beef cattle. *Animal Biotechnology*. 2011;22(2):51–63. DOI: <https://doi.org/10.1080/10495398.2011.552031>
32. Wei D., Zhang J., Raza S. H. A., Song Y., Jiang C., Song X., Wu H., Alotaibi M. A., Albiheyri R., Al-Zahrani M., Makhlof R. T. M., Alsaad M. A., Abdelnour S. A., Quan G. Interaction of MyoD and MyoG with Myoz2 gene in bovine myoblast differentiation. *Research in veterinary science*. 2022;152:569–578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.09.023>
33. Roldan D. L., Doderio A. M., Bidinost F., Taddeo H. R., Allain D., Poli M. A., Elsen J. M. Merino sheep: a further look at quantitative trait loci for wool production. *Animal*. 2010;4(8):1330–1340. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731110000315>
34. Walling G. A., Visscher P. M., Wilson A. D., McTeir B. L., Simm G., Bishop S. C. Mapping of quantitative trait loci for growth and carcass traits in commercial sheep populations. *Journal of Animal Science*. 2004;82(8):2234–2245. DOI: <https://doi.org/10.2527/2004.8282234x>
35. Cavanagh C. R., Jonas E., Hobbs M., Thomson P. C., Tammen I., Raadsma H. W. Mapping Quantitative Trait Loci (QTL) in sheep. III. QTL for carcass composition traits derived from CT scans and aligned with a meta-assembly for sheep and cattle carcass QTL. *Genetics Selection Evolution*. 2010;42(1):36. DOI: <https://doi.org/10.1186/1297-9686-42-36>
36. Raadsma H. W., Thomson P. C., Zenger K. R., Cavanagh C., Lam M. K., Jonas E., Jones M., Attard G., Palmer D., Nicholas F. W. Mapping quantitative trait loci (QTL) in sheep. I. A new male framework linkage map and QTL for growth rate and body weight. *Genetics Selection Evolution*. 2009;41(1):34. DOI: <https://doi.org/10.1186/1297-9686-41-34>

37. Clop A., Marcq F., Takeda H., Pirottin D., Tordoir X., Bibé B., Bouix J., Caiment F., Elsen J. M., Eychenne F., Larzul C., Laville E., Meish F., Milenkovic D., Tobin J., Charlier C., Georges M. A mutation creating a potential illegitimate microRNA target site in the myostatin gene affects muscularity in sheep. *Nature Genetics*. 2006;38(7):813–818. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng1810>

38. Stratz P., Schiller K. F., Wellmann R., Preuss S., Baes C., Bennewitz J. Genetic parameter estimates and targeted association analyses of growth, carcass, and meat quality traits in German Merinoland and Merinoland-cross lambs. *Journal of Animal Science*. 2018;96(2):398–406. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/sky012>

Сведения об авторах

✉ **Денискова Татьяна Евгеньевна**, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник группы генетики и геномики мелкого рогатого скота, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5809-1262>, e-mail: horarka@yandex.ru

Кошкина Ольга Андреевна, научный сотрудник группы генетики и геномики мелкого рогатого скота, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4830-6626>

Петров Сергей Николаевич, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории функциональной и эволюционной геномики животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5130-677X>

Сермягин Александр Александрович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, зав. отделом популяционной генетики и генетических основ разведения животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1799-6014>

Зиновьева Наталия Анатольевна, доктор биол. наук, профессор, академик Российской академии наук, директор ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

Information about the authors

✉ **Tatiana E. Deniskova**, PhD in Biological Science, leading researcher, Group for Genetic and Genomics of Small Ruminants, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5809-1262>, e-mail: horarka@yandex.ru

Olga A. Koshkina, researcher, Group for Genetic and Genomics of Small Ruminants, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4830-6626>

Sergey N. Petrov, PhD in Biological Science, senior researcher, Laboratory of Functional and Evolutionary Genomics of Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5130-677X>

Alexander A. Sermyagin, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Head of Department of Population Genetics and Genetic Bases of Breeding, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1799-6014>

Natalia A. Zinovieva, DSc in Biological Science, professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Применение *Origanum vulgare* L. при напольном содержании цыплят как элемента органического птицеводства

© 2024. Т. А. Куевда¹, Д. В. Зубоченко¹, П. С. Остапчук¹✉, Е. Ф. Мягких¹, М. А. Ахrameева¹, Л. Н. Рейнштейн¹, Т. П. Сатаева², О. Н. Постникова², Л. А. Шевкопляс²

¹ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», г. Симферополь, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация

В статье приведены результаты применения высушенной массы *Origanum vulgare* L. в качестве дополнительного компонента подстилки у цыплят мясо-яичного кросса Хаббард Редбро М из расчета 0,5 кг на опытную группу ежедневно с возраста 45 дней после перевода цыплят на напольное содержание. Количество голов в каждой группе 35. В возрасте 2 месяцев преимущество опытной группы цыплят над контрольной составило 102,5 г живой массы, в 75-дневном возрасте – 216,5 г, 90-дневном – 326,0 г, в возрасте 105 дней – 403,0 г. Усиливается бактерицидность сыворотки крови на фоне тест-культуры *S. aureus*: выявлено достоверное подавление колоний в первые пять часов экспозиции, а на фоне тест-культуры *E. coli* – на протяжении всего исследуемого периода. Отмечена интенсификация обменных процессов при использовании высушенной массы душицы обыкновенной в подстилке цыплят опытной группы, обусловленная усилением протеинового обмена, печеночных и почечных ферментов сыворотки крови, что сопряжено также и с повышенной концентрацией тиреоидных гормонов. Все эти факторы позволили достоверно увеличить прирост живой массы в среднем на 0,11 кг, что повысило убойную массу на 8,4 %. Практически все показатели развития внутренних органов у цыплят опытной группы находятся в достоверных пределах разницы в сравнении с контрольной группой.

Ключевые слова: мясо-яичный кросс, Хаббард Редбро М, подстилка, душица обыкновенная, живая масса, биохимические показатели, убойная масса, рентабельность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (регистрационный номер НИОКТР FNZW-2022-0011).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Куевда Т. А., Зубоченко Д. В., Остапчук П. С., Мягких Е. Ф., Ахrameева М. А., Рейнштейн Л. Н., Сатаева Т. П., Постникова О. Н., Шевкопляс Л. А. Применение *Origanum vulgare* L. при напольном содержании цыплят как элемента органического птицеводства. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):251–263.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.251-263>

Поступила: 07.02.2024

Принята к публикации: 05.04. 2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

Using *Origanum vulgare* L. in the floor management of chickens as an element of organic poultry farming

© 2024. Tatyana A. Kuevda¹, Denis V. Zubochenko¹, Pavel S. Ostapchuk¹✉, Elena F. Myagkikh¹, Maria A. Ahrameeva¹, Lyudmila N. Reinstein¹, Tatiana P. Sataieva², Olga N. Postnikova², Ludmila A. Shevkoplyas²

¹Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

²V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

The article provides the results of the use of dried *Origanum vulgare* mass as an additional component of bedding material in chickens of the Hubbard Redbro M meat-and-egg cross. *Origanum vulgare* dried mass was added at the rate of 0.5 kg per experimental group daily from the age of 45 days after the transfer of chickens to floor management. The number of heads for each group was 35. The live weight advantage at the age of 2 months of the experimental group of chickens over the control group is 102.5 g, at 75 days of age is 216.5 g, at 90 days of age is 326.0 g and at the age of 105 days is 403.0 g. The SBA increased at the background of the *S. aureus* test culture: there was a significant suppression of colonies in the first five hours of exposure, and at the background of the *E. coli* test culture there was a suppression throughout the entire study period. The intensification of metabolic processes was noted in chickens of the experimental group, due to increased protein metabolism, liver and kidney enzymes of blood serum, which was also associated with an increased concentration of thyroid hormones. All these factors made it possible to raise significantly the gain in live weight by an average of 0.11 kg, which increased the slaughter weight by 8.4 %. Almost all indicators of the development of internal organs in chickens of group II are within significant limits of the difference compared with the control group.

Keywords: meat-and-egg cross, Hubbard Redbro M, bedding material, *Origanum vulgare* L., live weight, biochemical parameters, slaughter weight, profitability

Acknowledgments: The research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Research Institute of Agriculture of Crimea (No. FNZW-2022-0011).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Kuevda T. A., Zubochenko D. V., Ostapchuk P. S., Myagkikh E. F., Ahrameeva M. A., Reinstein L. N., Sataieva T. P., Postnikova O. N., Shevkoplyas L. A. Using *Origanum vulgare* L. in the floor management of chickens as an element of organic poultry farming. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):251–263. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.251-263>

Received: 07.02.2024

Accepted for publication: 05.04.2024

Published online: 24.04.2024

На ближайшее десятилетие определены наиболее перспективные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса, которые станут основой выращивания сельскохозяйственной продукции без применения агрохимикатов, пестицидов, стимуляторов роста для животных, обеспечат уверенное становление и динамичное развитие стабильной конкурентоспособности России как на внутреннем, так и на внешнем рынках, следуя задаваемым правительством нашей страны важнейшим задачам^{1, 2}.

В последнее десятилетие производство мяса птицы в Российской Федерации занимает лидирующее положение среди прочих видов этого продукта – 5,3 млн т в убойной массе, удельный вес которого составляет 44 %, что позволило занять в мировом рейтинге четвертое место. Дальнейшие пути развития подотрасли должны основываться на её эффективности и безопасности производимой продукции [1], а наряду с увеличением количества продукции следует повышать и её качество³.

В промышленных условиях сельскохозяйственная птица существует на пределе своих физиологических возможностей. Для максимальной реализации генетического потенциала, который достаточно высок и отвечает современным мировым требованиям в птицеводстве [2, 3, 4], без нанесения существенного урона здоровью птицы, основополагающее значение имеют условия кормления и содержания на фоне обеспечения экологического и ветеринарно-санитарного благополучия [5, 6, 7].

Одним из основных показателей, исходя из которых оценивают состояние птицы, является частота контактных дерматитов (в основном для сельскохозяйственной птицы мясного

направления) и смертность кур-несушек (для яичного и мясо-яичного направлений) [6, 8], профилактика которых является залогом здоровья и высокой продуктивности поголовья⁴.

На данный момент, исходя из эпизоотических, климатических условий и хозяйственных возможностей, в птицеводстве применяются следующие системы содержания птицы: клеточная, лагерная, на глубокой подстилке и напольная [9]. Анализируя передовой научный опыт, можно обобщить, что каждая из систем содержания сельскохозяйственной птицы имеет свои преимущества и недостатки [10]. Наиболее весомым аргументом в пользу напольной системы содержания стало вступление Российской Федерации в ВТО, в которой одним из основополагающих принципов является гуманное отношение к животным и птице, в том числе и при содержании, поскольку при данной системе содержания птица имеет больше возможностей реализовать свои поведенческие и физиологические потребности, свободно перемещаясь по помещению птичника [6, 7, 11, 12, 13]. При всех преимуществах напольного содержания есть и некоторые недостатки, основным из которых является подстилка как фактор передачи многих заболеваний [10].

В качестве подстилочного материала могут применяться такие натуральные материалы, как хвоя, лузга подсолнечника, солома⁵, мох, торф [15], опилки [16], кукурузные и пальмовые листья [17], отходы переработки сахарного тростника [18], шелуха рисовая [19], цеолитовая глина [20]. Также применяют различные виды инновационных разработок – сорбенты, осушители, деструкторы, готовые ферментационные подстилки [21, 22].

¹Указ Президента Российской Федерации «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» №642 от 01 декабря 2016 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения: 26.12.2023).

²Федеральный закон «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» №280-ФЗ от 03 августа 2018 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201808030066> (дата обращения: 26.12.2023).

³Кувда Т. А. Влияние эфирного масла чабера горного (*Satureja Montana* L.) на биологические признаки цыплят-бройлеров: дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2021. 133 с.

⁴Приказ Минсельхоза РФ от 3 апреля 2006 г. № 104 «Об утверждении ветеринарных правил содержания птиц на птицеводческих предприятиях закрытого типа (птицефабриках)» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901976708> (дата обращения: 26.12.2023).

⁵Ноздрин А. Е. Влияние различных способов выращивания цыплят-бройлеров на мясную продуктивность: дис. ... канд. с.-х. наук. Белгород, 2015. 131 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01005567764>

Для повышения воспроизводительных и продуктивных качеств сельскохозяйственной птицы одним из наиболее действенных технологических приемов является применение веществ натурального происхождения, обладающих широким спектром действия, положительно влияющих на продуктивность и сохранность поголовья птиц, не оказывая при этом пагубного воздействия на организм и продукцию, получаемую в дальнейшем. К таковым можно отнести фитобиотики, антиоксиданты в различных формах, которые применяются разными способами на этапах производственного процесса в птицеводстве, в том числе и в виде подстилки для кур-несушек [23, 24, 25]. Включение фитобиотиков в состав подстилки для кур позволит повысить физиологический статус птицы, что в дальнейшем положительно отразится на продуктивности [26, 27, 28].

Душица обыкновенная обладает ярко выраженным озонирующим, антиоксидантным, антигистаминным, антибактериальным и антифунгальным действием, которые базируются на работе двух терпенов – карвакрола и тимола. Данные эффекты присущи не только эфирному маслу душицы, в высушенной растительной массе данный потенциал сохраняется и может проявляться не только при пероральном применении, но и при вдыхании в процессе пассивного насыщения помещения фитонцидами душицы и непосредственном контакте птицы с подстилкой из данного растения [29, 30].

Цель исследований – изучить возможность использования сухой массы душицы обыкновенной в качестве дополнения к подстилке из соломы для цыплят мясо-яичного кросса как элемента органического птицеводства, и ее влияние на состояние и формирование продуктивности цыплят мясо-яичного кросса Хаббард Редбро М.

Научная новизна – изучение использования продуктов переработки эфиромасличных культур в птицеводстве, позволяющих обеспечивать развитие птицы на оптимальном физиологическом уровне. Для улучшения благополучия птицы при напольном содержании применён материал, дополняющий традиционный ресурс. Учитывая интерес к органическим компонентам, используемым в процессе онтогенеза птицы, и отсутствие в литературе данных по использованию продуктов перера-

ботки эфиромасличных культур в качестве компонента к подстилке, исследования проводятся впервые.

Материал и методы. Исследования проводили в условиях вивария для содержания птицы в отделении полевых культур ФГБУН «НИИСХ Крыма» в 2020 году. Материалом для исследований служил мясо-яичный кросс цыплят Хаббард Редбро М. Изучаемый фактор: использование подстилки с включением сухих растительных остатков душицы обыкновенной *Origanum vulgare* L.

Формировали группы в соответствии с требованиями к постановке опытов в птицеводстве [31]. Основной рацион состоял из готовых полнорационных кормовых смесей согласно научно обоснованным нормам. Схема кормления птицы включала следующие корма: ПК-5 – от рождения до 4-недельного возраста; ПК-6 – с 5-недельного возраста и старше. В 100 г кормовых смесей содержалось соответственно обменной энергии – 301 и 320 ккал, сырого протеина – 23,0 и 21,0 %. Содержание прочих питательных компонентов отвечало нормам питания для цыплят-бройлеров⁶.

В контрольной группе (I группа, n = 35 гол.) цыплят использовали подстилку из соломы, в опытной группе (II группа, n = 35 гол.) в подстилку из соломы добавляли высушенную массу травы душицы обыкновенной из расчета 0,5 кг на опытную группу ежедневно. Массовая доля эфирного масла в высушенной траве *Origanum vulgare* составляла около 0,595 % от абсолютно сухой массы. Длительность опыта – 2 месяца. Длительность наблюдений за птицей – 105 дней.

Содержание птицы происходило дифференцировано в связи с тем, что до 45-дневного возраста цыплятам необходимо было обеспечить определенный температурно-влажностный режим. До 45-дневного возраста птица содержалась в клетке, а с 45-дневного возраста цыплят перевели на напольное содержание на глубокой несменяемой подстилке из соломы.

Изучали: живую массу молодняка (10 голов взвешивали на 15-й, 30-й, 45-й, 60-й, 75-й, 90-й и 105-й дни), мясные показатели (по три головы из каждой группы в возрасте трёх месяцев) и особенности формирования внутренних органов, биохимические и гематологические показатели крови.

⁶Егоров И. А., Манукян В. А., Околелова Т. М., Ленкова Т. Н., Андрианова Е. Н., Шевяков А. Н. и др. Руководство по кормлению сельскохозяйственной птицы. М.: изд-во Лика, 2019. 215 с.

У подопытной птицы кровь отбирали из подкрыльцовой вены (*vena cutanea ulnaris*) в две вакуумные пробирки – с антикоагулянт КЗ ЭДТА и активатором свертывания. Из пробирки с КЗ ЭДТА кровь использовали для гематологических исследований, определяли: эритроциты ($\times 10^{12}/л$) и лейкоциты ($\times 10^9/л$) в камере Горяева, лейкоцитарную формулу – по микроскопии мазка крови⁷. В сыворотке крови из пробирки с активатором свертывания с помощью автоматического анализатора Vitalab Flexor E определяли следующие биохимические показатели: белок общий, альбумин, глюкозу, аланинаминотрансферазу (АЛАТ), аспартатаминотрансферазу (АсАТ), креатинин, мочевину, содержание билирубина, альфа-амилазы, калия, фосфора. Концентрацию трийодтиронина (T_3), тироксина (T_4) и тиреотропного гормона (ТТГ) определяли методом спектрофотометрии на иммуноферментном анализаторе StatFax 3200.

Часть сыворотки крови была направлена на изучение бактерицидной активности сыворотки крови (БАСК), на основе суточных культур референтных штаммов бактерий *S. aureus* ATCC 25923 и *E. coli* ATCC 25922 готовили взвесь 0,5 ед. мутности по стандарту МакФарланд. В лунки полистиролового 96-луночного планшета вносили по 180 мкл среды (МПБ) и по 20 мкл сыворотки. Объем взвеси культур в лунке во всех вариантах опытов составлял 20 мкл. В контрольные образцы вместо сыворотки вносили 20 мкл изотонического раствора хлорида натрия. Оценивали оптическую плотность образцов через каждый час с помощью прибора Multiscan при длине волны 540 нм. Показатель БАСК определяли по формуле:

$$\text{БАСК} = \frac{E_{on3} - E_{on0}}{E_{k3} - E_{k0}} \times 100,$$

где: БАСК – бактерицидная активность сыворотки крови, выраженная в %; E_{on3} – оптическая плотность опытной пробы через три часа инкубации; E_{on0} – оптическая плотность опытной пробы до инкубации; E_{k3} – оптическая плотность контрольной пробы через три часа инкубации, E_{k0} – оптическая плотность контрольной пробы до инкубации.

С целью изучения мясных качеств проводили контрольный убой птицы по три головы

из каждой группы после 12-часовой голодной выдержки при свободном доступе к питьевой воде. Изучали убойные показатели и особенности формирования внутренних органов.

Все полученные данные обрабатывали по общепринятой методике⁸ на базе табличного процессора Excel на ПЭВМ.

Результаты и их обсуждение. Цыплята мясо-яичного кросса Хаббард Редбро М до 45-дневного возраста, при содержании в клетках, по живой массе достоверных отличий не имели (табл. 1). После перевода на напольное содержание у цыплят второй группы, содержащихся на подстилке с добавлением высушенной травы душицы обыкновенной, в более поздние периоды роста зафиксировано достоверное преимущество по живой массе. К 60-дневному возрасту цыплята II группы превалировали над птицей контрольной по живой массе на 102,51 г (5,4 %) ($P \leq 0,001$), в 75-дневном возрасте преимущество составило 216,5 г (8,9 %) ($P \leq 0,001$); 90-дневном – 326,0 г (11,1 %) ($P \leq 0,001$); в возрасте 105 дней – на 403,0 г (12,1 %) ($P \leq 0,001$).

В крови цыплят опытной группы отмечено повышение эритроцитов на 23,7 % ($P \leq 0,001$), лейкоцитов – на 25,5 % ($P \leq 0,01$) (табл. 2). Таким образом, введение душицы белой в состав подстилки нормализовало гематологические показатели крови птицы, максимально приблизив данные показатели к физиологической норме, свойственной данному возрасту.

В лейкоцитарной формуле у птицы опытной группы содержание лимфоцитов снизилось на 3,6 % ($P \leq 0,05$), что, как отмечено некоторыми авторами, вполне соответствует физиологическим процессам, происходящим в организме птицы в данный возрастной период (после 6-недельного возраста)⁹.

В то же время, исходя из результатов исследований Е. В. Шацких и Е. Н. Латыповой [32], подобные процессы могут свидетельствовать о нивелировании биологически активными компонентами *Origanum vulgare* L. развития инфекционных процессов. Остальная вариативность показателей лейкоформулы имеет следующий характер изменений: происходит увеличение моноцитов на 33,3 % ($P \leq 0,001$) и палочкоядерных лимфоцитов на 23,3 % ($P \leq 0,01$) (рис.).

⁷Вертипрахов В. Г., Грозина А. А., Карамушкина С. В., Овчинникова Н. В., Кошечева М. В., Кислова И. В. Морфо-биохимические исследования крови у сельскохозяйственной птицы: учебное пособие. Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2021. 134 с. URL: http://irbis.dalga.ru/DigitalLibrary/UMM_vo/623.pdf

⁸Плохинский Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. 53 с.

URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007326467>

⁹Вертипрахов В. Г., Грозина А. А., Карамушкина С. В., Овчинникова Н. В., Кошечева М. В., Кислова И. В. Указ. соч.

Таблица 1 – Динамика живой массы цыплят мясо-яичного кросса Хаббард Редбро М, г /
Table 1 – Dynamics of live weight of chickens of Hubbard Redbro M meat-and-egg cross, g

Возраст птицы / Poultry age	I группа / 1 st group		II группа / 2 nd group	
	$X \pm m$	CV, %	$X \pm m$	CV, %
1-е сут. / the 1 st day	40,74±0,54	4,20	40,81±0,51	3,90
15-й день / the 15 th day	338,20±6,48	6,10	346,50±5,03	4,60
30-й день / the 30 th day	719,01±11,57	5,09	737,49±10,91	4,68
45-й день / the 45 th day	1337,02±7,27	1,72	1356,04±9,23	2,15
60-й день / the 60 th day	1907,50±22,61	3,75	2010,01±17,08***	2,69
75-й день / the 75 th day	2422,51±27,51	2,59	2639,02±29,35***	3,52
90-й день / the 90 th day	2939,01±53,51	5,76	3265,01±50,28***	4,87
105-й день / the 105 th day	3343,02±41,43	3,92	3746,03±57,43***	4,85

Примечания: здесь и далее в таблицах: I группа – контрольная (подстилка из соломы), II группа (подстилка из соломы с ежедневным добавлением 0,5 кг сухой массы душицы обыкновенной); **** значимо при $P \leq 0,001$ /

Notes: here and further in the tables: I group – control (straw bedding), II group (straw bedding with daily adding of 0.5 kg of dry matter of *Origanum vulgare*); ***It is significant when $P \leq 0.001$

Таблица 2 – Концентрация эритроцитов и лейкоцитов в крови цыплят мясо-яичного кросса Хаббард Редбро М /
Table 2 – RBC and WBC concentration in the blood of chickens of Hubbard Redbro M meat-and-egg cross

Группа / Group	Показатель биометрии / Biometrics indicator	Эритроциты, $\times 10^{12}/л$ / RBC, $\times 10^{12}/L$	Лейкоциты $\times 10^9/л$ / WBC, $\times 10^9/L$
I / 1 st	$X \pm m$	2,37±0,10	26,33±2,44
	CV, %	7,51	16,03
II / 2 nd	$X \pm m$	3,10±0,08***	35,33±0,64**
	CV, %	4,30	3,14
Нормальные пределы по данным литературных источников / Normal limits according to literary sources ¹⁰		2,5–4,5	20,0–40,0

** Значимо при $P \leq 0,01$; *** при $P \leq 0,001$ / **It is significant when $P \leq 0.01$; *** $P \leq 0.001$

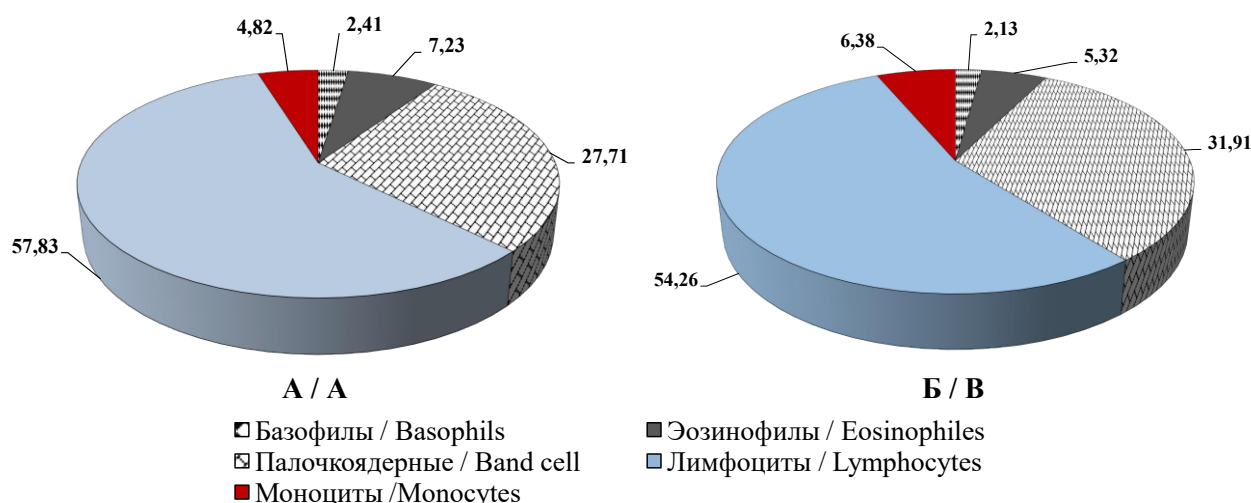


Рис. Лейкоцитарная формула крови цыплят мясо-яичного кросса Хаббард Редбро М в опыте:
А – I группа; Б – II группа /

Fig. The leukocyte formula of chicken blood of Hubbard Redbro M meat-and-egg cross in the experiment: A – the 1st group I; B – the 2nd group

¹⁰Полозюк О. Н., Ушакова Т. М. Гематология: учебное пособие. Персиановский: Донской ГАУ, 2019. 159 с.

Результаты, полученные в процессе изучения биохимического состава сыворотки крови, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Биохимия сыворотки крови цыплят мясо-яичного кросса Хаббард Редбро М /
Table 3 – Biochemistry of chicken blood serum of Hubbard Redbro M meat-and-egg cross

Показатель / Indicator	I группа / 1 st group		II группа / 2 nd group		Норма / Standard ¹¹
	$\bar{X} \pm m$	CV, %	$\bar{X} \pm m$	CV, %	
Белок общий, ед./л / Total protein, u/l	31,67±1,80	9,82	42,50±1,88***	7,65	25,0–40,0
Альбумин, ед./л / Albumin, u/l	24,67±1,41	9,91	32,01±1,15***	6,25	–
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	8,67±0,51	10,26	9,00±0,38	7,41	9–13
АлАТ, ед./л / Alanine transaminase, u/l	19,33±2,18	19,54	26,68±1,28*	8,33	4–20
АсАТ, ед./л / Aspartate transaminase, u/l	193,67±10,52	9,41	219,33±12,45	9,83	206,7–386,0
Креатинин, ммоль/л / Creatinine, mmol/l	27,01±2,31	14,81	32,33±1,28*	6,87	18–26
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	3,03±0,06	3,66	3,30±0,08**	4,04	–
Билирубин прямой, мкмоль/л / Bilirubin direct, μ mol/l	0,53±0,22	70,83	0,23±0,06	47,62	–
Билирубин общий, мкмоль/л / Total bilirubin, μ mol/l	2,20±0,23***	18,18	0,67±0,09	23,33	–
Альфа-амилаза, ед./л / Alpha-amylase, u/l	315,67±33,74	18,51	337,01±7,31	3,76	–
Калий, ммоль/л / Potassium, mmol/l	3,13±0,14	7,80	3,53±0,22	10,69	–
Фосфор, ммоль/л / Phosphorus, mmol/l	1,80±0,12	11,11	2,01±0,08	6,67	2–6

* Значимо при $P \leq 0,05$; ** при $P \leq 0,01$; *** при $P \leq 0,001$ / *It is significant when $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$

Наблюдается интенсификация белкового обмена у цыплят II группы на 34,2 % ($P \leq 0,001$), в том числе альбумина – на 29,7 % ($P \leq 0,001$), отмечается увеличение содержания печеночных и почечных ферментов соответственно АлАТ – на 2,9 % ($P \leq 0,001$), а креатинина – на 2,02 % ($P \leq 0,05$). Билирубин общий понижается у цыплят II группы в достоверной степени на 69,7 % ($p \leq 0,001$), что, вероятно, свидетельствует о снижении интенсивности процесса трансформации непрямого билирубина в прямой.

Тиреоидные гормоны регулируют обмен веществ и энергии практически во всех органах и тканях птицы, что является основой формирования продуктивности птицы [33]. Наблюдается сопряженность тиреоидных и тиреотропного гормонов: продуцирование ТТГ связано с T_4 . Установлено, что некоторое снижение уровня T_4 повышает концентрацию ТТГ [34]; при этом содержание ТТГ и T_3 сопряжено на 64 %. Дополнительно установлено, что наследственная корреляция между концентрацией тиреотропного и тиреоидных гормонов не выявлена [35].

В таблице 4 приведена концентрация тиреоидных и тиреотропного гормонов в сыво-

ротке крови птицы изучаемых групп. По концентрации трийодтиронина разница между группами варьирует достоверно и составляет 0,599 нмоль/л ($P \leq 0,01$). Содержание тироксина у опытной группы цыплят превышает значение контрольной на 3,917 нмоль/л ($P \leq 0,001$). Содержание тиреотропного гормона у опытной группы преобладает над контрольной тенденциозно.

Таким образом, повышение концентрации тиреоидных гормонов происходит на фоне интенсификации обменных процессов. В исследованиях Л. Ш. Горелик с соавт. был установлен факт снижения трийодтиронина у несушек в конце продуктивного периода, что свидетельствовало о снижении скорости обменных процессов, а повышение концентрации тиронина связано с тем, что тироксин трансформируется в трийодтиронин, исходя из чего, биологическое взаимодействие тиреоидных гормонов осуществляется за счет трийодтиронина [33]. Определено также, что трийодтиронин влияет на выработку гормона роста и соматомедина: введение трийодтиронина животным, отстающим в росте, позволило нивелировать это отставание [36].

¹¹Насонов И. В., Буйко Н. В., Лизун Р. П., Вольхина В. Е., Захарик Н. В., Якубовский С. М. Методические рекомендации по гематологическим и биохимическим исследованиям у кур современных кроссов: нормативное производственно-практическое издание. Минск, 2014. 32 с. URL: <http://old.biev.m.by/gallery/гематологические%20и%20биохимические%20исследования%20у%20кур%20современных%20кроссов.pdf>

Таблица 4 – Концентрация тиреоидных и тиреотропного гормонов в сыворотке крови цыплят мясо-яичного кросса Хаббард Редбро М /

Table 4 – Concentration of thyroid and thyroid-stimulating hormones in blood serum of Hubbard Redbro M meat-and-egg cross chickens

Гормон / Hormon	Показатель биометрии / Biometrics indicator	I группа / 1 st group	II группа / 2 nd group
Т ₃ , пмоль/л / Т ₃ , pmol/L	X±m _x	3,440±0,017	4,039±0,164**
	C _v , %	0,85	7,01
Т ₄ , нмоль/л / Т ₄ , nmol/L	X±m _x	28,487±0,217	32,403±0,557***
	C _v , %	1,32	2,98
ТТГ, мкМЕ/мл / TSH, µIU/mL	X±m _x	0,309±0,009	0,351±0,029
	C _v , %	4,82	14,39

** Значимо при P≤0,01; *** при P≤0,001 / **It is significant when P≤0.01; *** P≤0.001

Здоровый организм на любые бактериальные инфекции отвечает образованием антибактериальных компонентов. В предотвращении повреждений тканей хозяина решающее значение имеют факторы ингибирования роста бактерий. Трансферрин – один из таковых факторов: является растворимым белком крови, способным активировать макрофаги в высоких концентрациях, в первую очередь, на стадии острого воспаления, снижая уровень железа, столь необходимого при некоторых бактериальных инфекциях. В случае атаки бактерий эти белки начинают активно формироваться и накапливаться, впоследствии уничтожая колонии бактерий. Исходя из этого, принцип определения бактерицидной активности сыворотки крови основан на оценке количества появившихся колоний бактерий. Уменьшение количества бактерий в колониях указывает на высокую бактерицидную активность [37].

Бактерицидная активность сыворотки крови (БАСК) цыплят в опыте приведена в таблице 5.

На фоне тест-культуры *S. aureus* происходит достоверное подавление колоний в первые пять часов экспозиции (P≤0,01...P≤0,001), а с шестого часа эффект нивелируется в пользу

контроля (P≤0,001). На фоне тест-культуры *E. coli*, на протяжении всего исследуемого периода происходит подавление роста колоний, причем на начальных этапах экспозиции разница принимает достоверные значения (P≤0,001...P≤0,01).

Таким образом, эффект введения в подстилку высушенной массы душицы обыкновенной проявляется на уровне бактерицидности крови на начальных этапах экспозиции тест-культур, достоверно снижая уровень БАСК. Вероятно, это связано с тем, что снижение уровня лимфоцитов, как врожденного фактора иммунитета, обратно связано с уровнем моноцитов и лейкоцитов, которые интенсифицируют функцию фагоцитоза, заключающуюся в идентификации бактерий и их уничтожении. На более поздних этапах экспозиции происходит накопление мертвых клеток за счет интенсивного действия лейкоцитов и моноцитов, что и вызывает снижение уровня БАСК у цыплят опытной группы.

Проведенный контрольный убой показал увеличение убойной массы цыплят в опытной группе на 8,6 % (P≤0,01) и убойного выхода – на 4,8 % (P≤0,001) (табл. 6).

Таблица 5 – Бактерицидная активность сыворотки крови цыплят мясо-яичного кросса Хаббард Редбро М (n = 5) /

Table 5 – Serum bactericidal activity of Hubbard Redbro M meat-and-egg cross chickens (n = 5)

Тест-культура / Test-culture	Группа / Group	Время инкубации культуры с сывороткой крови цыплят, ч / Incubation time of the test-culture with chicken serum, h				
		2	3	4	5	6
<i>S. aureus</i>	I / 1 st	56,0±20,1	49,1±12,1**	44,8±6,9***	34,7±3,6***	16,7±0,4
	II / 2 nd	24,8±2,0	29,7±0,6	34,7±2,6	29,1±2,4	24,1±2,2***
<i>E. coli</i>	I / 1 st	83,3±12,5***	63,4±13,2**	43,2±8,5**	29,9±9,6	19,3±8,4
	II / 2 nd	59,6±9,1	41,6±10,4	29,5±7,4	10,8±3,9	6,1±1,6

** Значимо при P≤0,01; *** при P≤0,001 / **It is significant when P≤0.01; *** P≤0.001

Таблица 6 – Убойные показатели цыплят мясо-яичного кросса Хаббард Редбро М и особенности развития внутренних органов /
Table 6 – Slaughter indicators of Hubbard Redbro M meat-and-egg cross chickens in the experiment and features of the development of internal organs

Показатель / Indicator	I группа / 1 st group		II группа / 2 nd group	
	$\bar{X} \pm m_x$	CV, %	$\bar{X} \pm m_x$	CV, %
Живая масса, кг / Live weight, kg	2,95±0,02	1,5	3,06±0,04*	3,2
Убойная масса, кг / Slaughter weight, kg	2,09±0,02	2,2	2,27±0,04**	4,2
Убойный выход, % / The slaughter-out-percentage, %	70,9±0,25	0,8	74,3±1,54***	4,6
Масса, г / Weight, g:				
ног / legs	74,33±0,40	1,2	83,00±2,68**	7,2
трахеи / trachea	2,30±0,15	14,5	3,00±0,15**	11,1
зоба и пищевода / goiter and esophagus	22,00±0,89	9,1	27,00±0,89**	7,4
железистого желудка / glandular stomach	12,67±0,99	17,5	24,67±0,50***	4,5
мышечного желудка / the muscular stomach	44,67±0,50	2,5	50,67±2,19**	9,6
поджелудочной железы / pancreas	2,33±0,05	4,8	2,53±0,05**	4,4
сердца / heart	19,00±0,30	3,5	22,33±0,50***	5,0
селезенки / spleen	5,00±0,30	13,3	7,67±0,80**	23,2
печени / liver	57,33±1,09	54,0	62,00±0,89**	3,2
желчного пузыря / gallbladder	3,70±0,48	28,8	4,00±0,30	16,7
кишечника / intestine	176,67±5,47	6,9	233,33±12,42***	11,9
Масса, % / Weight, %:				
ног / legs	2,52±0,01	0,6	2,71±0,05**	4,1
трахеи / trachea	0,08±0,00	13,2	0,10±0,01**	12,1
зоба и пищевода / goiter and esophagus	0,75±0,03	8,7	0,88±0,02**	5,3
железистого желудка / glandular stomach	0,43±0,03	16,3	0,81±0,01***	2,4
мышечного желудка / the muscular stomach	1,51±0,02	3,6	1,66±0,06*	7,5
поджелудочной железы / pancreas	0,08±0,00	6,4	0,08±0,00	4,6
сердца / heart	0,64±0,01	2,3	0,73±0,01***	2,9
селезенки / spleen	0,17±0,01	15,0	0,25±0,02**	20,6
печени / liver	1,94±0,03	3,1	2,03±0,01**	1,0
желчного пузыря / gallbladder	0,12±0,02	27,8	0,13±0,01	18,3
кишечника / intestine	5,99±0,20	7,4	7,62±0,37**	10,7

Заключение. Установлено, что содержание цыплят в возрасте двух месяцев на глубокой подстилке с добавлением высушенной массы душицы позволило увеличить вес живой массы в опытной группе на 102,5 г ($P \leq 0,001$) по сравнению с контрольной группой птицы, содержащейся на подстилке из соломы, в 75-дневном возрасте преимущество опытной группы составило 216,5 г ($P \leq 0,001$); 90-дневном – 326,0 г ($P \leq 0,001$); в возрасте 105 дней – на 403,0 г ($P \leq 0,001$).

Усиливается бактерицидность сыворотки крови на фоне тест-культуры *S. aureus*: выявлено достоверное подавление колоний в первые пять часов экспозиции ($P \leq 0,01 \dots P \leq 0,001$), на фоне тест-культуры *E. coli* – на протяжении всего исследуемого периода.

Отмечена интенсификация обменных процессов при использовании в подстилке цыплят мясо-яичного кросса Хаббард Редбро М высушенной травы душицы обыкновенной, обусловленная усилением протеинового обмена, печеночных и почечных ферментов сыворотки крови, что сопряжено также и с повышенной концентрацией тиреоидных гормонов.

Все эти факторы позволили достоверно интенсифицировать приросты живой массы в среднем на 0,11 кг ($P \leq 0,05$), что повысило убойную массу на 8,4 %. Практически все показатели развития внутренних органов у цыплят второй группы находятся в достоверных пределах разницы в сравнении с контрольной ($P \leq 0,01 \dots P \leq 0,001$).

Список литературы

1. Фисинин В. И. Уровень динамики развития мясного и яичного птицеводства России. Результаты работы отрасли в 2022 году. Птицеводство. 2023;(4):4–8.
2. Терлецкий В. П., Тыщенко В. И. Особенности организации геномной ДНК в генофондных популяциях кур, выявляемые мультилокусным ДНК-зондом. Птицеводство. 2023;(2):14–18. DOI: <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-2-14-18> EDN: ROPBXW
3. Григорьева М. А., Величко О. А., Жигилева О. Н., Пак И. В., Виноградский И. А., Рустамов Р. Д., Трофимов О. В. ISSR-полиморфизм кур-несушек родительского стада бройлеров, различающихся по темпам роста и показателям продуктивности. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):453–461. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.453-461> EDN: QMAGTK
4. Федорова Е. С., Станишевская О. И., Дементьева Н. В. Современное состояние и проблемы племенного птицеводства в России (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):217–232. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.217-232> EDN: SRMKSH
5. Сулимова Л. И., Жучаев К. В., Кочнева М. Л. Поведенческие реакции и благополучие сельскохозяйственной птицы. Сельскохозяйственная биология. 2020;55(2):209–224. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.209rus> EDN: ZLPSOY
6. El-Deek A., El-Sabroun K. Behaviour and meat quality of chicken under different housing systems. World's Poultry Science Journal. 2019;75(1):105–114. URL: DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933918000946>
7. Mottet A., Tempio G. Global poultry production: current state and future outlook and challenges. World's Poultry Science Journal. 2017;73(2):245–256. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933917000071>
8. Буяров В. С., Ройтер Я. С., Кавтарашвили А. Ш., Червонова И. В., Буяров А. В., Ройтер Л. М. Методология комплексной оценки племенных и продуктивных качеств сельскохозяйственной птицы: монография. Орел: Орловский ГАУ им. Н. В. Парахина, 2020. 201 с.
9. Oloyo A. The Use of Housing System in the Management of Heat Stress in Poultry Production in Hot and Humid Climate: a Review. Poultry Science Journal. 2018;6(1):1–9. DOI: <https://doi.org/10.22069/psj.2018.13880.1284>
10. Wang L., Zhang Y., Kong L., Wang Z. Effects of rearing system (floor vs. cage) and sex on performance, meat quality and enteric microorganism of yellow feather broilers. Journal of Integrative Agriculture. 2021;20(7):1907–1920. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63420-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63420-7)
11. Bessei W. Impact of animal welfare on worldwide poultry production World's Poultry Science Journal. 2018;74(2):211–224. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933918000028>
12. Elson' H. A. Poultry welfare in intensive and extensive production systems. World's Poultry Science Journal. 2015;71(3):449–460. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933915002172>
13. Martinez-Perez M., Sarmiento-Franco L., Santos-Ricalde R. H., Sandoval-Castro C. A. Poultry meat production in free-range systems: perspectives for tropical areas World's Poultry Science Journal. 2017;73(2):309–320. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933917000034>
14. Garcia R. G., Almeida Paz I. C. L., Caldara F. R., Nääs I. A., Pereira D. F., Ferreira V. M. O. S. Selecting the Most Adequate Bedding Material for Broiler Production in Brazil. Brazilian Journal of Poultry Science. 2012;14(2):71–158. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2012000200006>
15. Фисинин В. И., Егоров И. А., Цыганов А. Р., Томсон А. Э., Пономаренко Ю. А., Фесина В. В., Лизун Р. П., Мартыненко А. А. Испытания сорбента в подстилочном материале для птицы. Птица и птицепродукты. 2014;(3):28–30.
16. Munir M. T., Belloncle C., Irle M., Federighi M. Wood-based litter in poultry production: a review. World's Poultry Science Journal. 2019;75(1):5–16. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933918000909>
17. Al-Homidan I. M., Fathi M., Al-Shumaymiri A. Chopped palm leaves as an acceptable bedding material for broiler production. Journal of Applied Poultry Research. 2018;27(1):59–64. DOI: <https://doi.org/10.3382/japr/pfx040>
18. Teixeira A. S., de Oliveira M. C., Menezes J. F. S., Gouvea B. M., Teixeira S. R., Gomes A. R. Poultry litter of wood shavings and sugarcane bagasse animal performance and bed quality. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 2015;28(3):238–246. DOI: <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v28n3a4>
19. Atencio J. L., Fernandes J. A., Gernat A. G., Murillo J. G. Effect of pine wood shavings, rice hulls and river bed sand on broiler productivity when used as a litter source. International Journal of Poultry science. 2010;9(3):240–243. DOI: <https://doi.org/10.3923/ijps.2010.240.243>
20. Теммеев М. И., Кулинцев В. В., Улимаев М. Б. Подстилка для кур на основе цеолитсодержащей глины. Животноводство и кормопроизводство. 2018;101(3):172–177. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36293478> EDN: YLJOPZ
21. Епишева Е. Э., Самокиш Н. В., Барсукова М. Г. Связь качества подстилочных материалов и жизнеспособности бройлеров в предстартовый период. Актуальные вопросы патологии, морфологии и терапии животных: мат-лы 19-й Междунар. науч.-метод. конф. по патологической анатомии животных. Ставрополь: изд-во «Агрус», 2018. С. 157–160.

22. Epimahova E. E., Samokish N. B., Barsukova M. G. Effect bio-destructor of litter on broiler productivity. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018;9(6):1774–1778.
URL: [https://www.rjpbcs.com/pdf/2018_9\(6\)/\[286\].pdf](https://www.rjpbcs.com/pdf/2018_9(6)/[286].pdf)
23. El-Ashram S., Abdelhafez G. A. Effects of phytogenic supplementation on productive performance of broiler chickens. Journal of Applied Poultry Research. 2020;29(4):852–862.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.07.005>
24. Kamboh A. A., Leghari R. A., Khan M. A., Kaka U., Naseer M., Sazili A. Q., Malhi K. K. Flavonoids supplementation – An ideal approach to improve quality of poultry products. World's Poultry Science Journal. 2019;75(1):115–126. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933918000703>
25. Ognik K., Cholewinska E. I., Sembratowicz I., Grela E., Czech A. The potential of using plant antioxidants to stimulate antioxidant mechanisms in poultry. World's Poultry Science Journal. 2016;72(2):291–298.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933915002779>
26. Шацких Е. В., Лоретц О. Г., Королькова-Субботкина Д. Е., Дроздова Л. И., Галиев Д. М., Кравцова Л. З., Поляков П. С. Разработка биотехнологических подходов к повышению резистентности цыплят-бройлеров при использовании в рационе безопасных стимуляторов роста: научно-практические рекомендации. Екатеринбург: изд-во Уральского ГАУ, 2020. 68 с.
Режим доступа: http://repository.urgau.ru/images/NPR/Razrab_biot_podhodov_NPR_2020.pdf
27. Alagawany M., Elnesr S. S., Farag M. R. Use of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) in poultry nutrition: Global impacts on performance, carcass and meat quality. World's Poultry Science Journal. 2019;75(2):293–303.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933919000059>
28. Greene E. S., Emami N. K., Dridi S. Research Note: Phytobiotics modulate the expression profile of circulating inflammasome and cyto (chemo) kine in whole blood of broilers exposed to cyclic heat stress. Poultry Science. 2021;100(3):100801. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.055>
29. Остапчук П. С., Зубоченко Д. В., Куведва Т. А. Роль антиоксидантов и использование их в животноводстве и птицеводстве (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(2):103–117.
Режим доступа: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.103-117> EDN: FUFQGF
30. Pashtetsky V., Ostapchuk P., Kuevda T., Zubochenko D., Yemelianov S., Uppe V. Use of phytobiotics in animal husbandry and poultry. E3S Web of Conferences. 2020;215:1–10.
DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021502002>
31. Меднова В. В., Саранюк С. В. Современные методы проведения исследований по технологии производства яиц и мяса птицы. Научный журнал молодых ученых. 2020;(2(19)):47–55.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43033091> EDN: HQGMKB
32. Шацких Е. В., Латыпова Е. Н. Показатели крови и продуктивность кур при использовании в рационе фитобиотических препаратов. Аграрный вестник Урала. 2023;8(237):78–88.
DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-237-08-78-88> EDN: CBPVJK
33. Горелик Л. Ш., Горелик О. В., Харлап С. Ю., Дерхо М. А. Гипофизарно-тиреоидный статус кур-несушек кросса «Ломанн-белый». Аграрный вестник Урала. 2018;7(174):11–14.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36587093> EDN: YQNFJB
34. Трошина Е. А. Современные аспекты профилактики и лечения йододефицитных заболеваний. Фокус на группы риска. Медицинский совет. 2016;(3):82–85.
DOI: <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2016-3-82-85> EDN: TLFJBN
35. Hansen P. S., Brix T. H., Iachine I., Sørensen T. I. A., Kyvik K. O., Hegedüs L. Genetic and environmental interrelations between measurements of thyroid function in a healthy Danish twin population. American Journal of Physiology, Endocrinology and Metabolism. 2007;292(3):765–770.
DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00321.2006>
36. Cabello G., Wrutniak C. Thyroid hormone and growth: relationships with growth hormone effects and regulation. Reproduction Nutrition Development. 1989;29(4):387–402. DOI: <https://doi.org/10.1051/rnd:19890401>
37. Bustamam M. S. A., Pantami H. A., Shaari K., Min C. C., Mediani A., Ismail I. S. Immunomodulatory effects of Isochrysis galbana incorporated diet on *Oreochromis* sp. (red hybrid tilapia) via Sera-1H NMR metabolomics study. Fish & Shellfish Immunology. 2023;132(S1):108455. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.108455>

References

1. Fisnin V. I. Dynamics of development of the markets of poultry meat and eggs in Russian Federation and the results of the branch activity in 2022. *Ptitsevodstvo*. 2023;(4):4–8. (In Russ.).
2. Terletskiy V. P., Tyshchenko V. I. Specific features of the genomic dna structure in gene pool chicken populations as revealed by multilocus DNA probe. *Ptitsevodstvo*. 2023;(2):14–18. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-2-14-18>

3. Grygorieva M. A., Velichko O. A., Zhigileva O. N., Pak I. V., Vinogradsky I. A., Rustamov R. D., Trofimov O. V. ISSR polymorphism of laying hens of broiler parental stock distinguished by rates of growth and productivity indicators. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4):453–461. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.453-461>
4. Fedorova E. S., Stanishevskaya O. I., Dementieva N. V. Current state and problems of poultry breeding in Russia (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3):217–232. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.217-232>
5. Sulimova L. I., Zhuchayev K. V., Kochneva M. L. Poultry behavior reactions and welfare (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2020;55(2):209–224. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.209rus>
6. El-Deek A., El-Sabroun K. Behaviour and meat quality of chicken under different housing systems. *World's Poultry Science Journal*. 2019;75(1):105–114. URL: DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933918000946>
7. Mottet A., Tempio G. Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*. 2017;73(2):245–256. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933917000071>
8. Buyarov V. S., Royter Ya. S., Kavtarashvili A. Sh., Chervonova I. V., Buyarov A. V., Royter L. M. Methodology of comprehensive assessment of breeding and productive qualities of poultry: monograph. Orel: *Orlovskiy GAU im. N. V. Parakhina*, 2020. 201 p.
9. Oloyo A. The Use of Housing System in the Management of Heat Stress in Poultry Production in Hot and Humid Climate: a Review. *Poultry Science Journal*. 2018;6(1):1–9. DOI: <https://doi.org/10.22069/psj.2018.13880.1284>
10. Wang L., Zhang Y., Kong L., Wang Z. Effects of rearing system (floor vs. cage) and sex on performance, meat quality and enteric microorganism of yellow feather broilers. *Journal of Integrative Agriculture*. 2021;20(7):1907–1920. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63420-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63420-7)
11. Bessei W. Impact of animal welfare on worldwide poultry production *World's Poultry Science Journal*. 2018;74(2):211–224. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933918000028>
12. Elson' H. A. Poultry welfare in intensive and extensive production systems. *World's Poultry Science Journal*. 2015;71(3):449–460. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933915002172>
13. Martinez-Perez M., Sarmiento-Franco L., Santos-Ricalde R. H., Sandoval-Castro C. A. Poultry meat production in free-range systems: perspectives for tropical areas *World's Poultry Science Journal*. 2017;73(2):309–320. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933917000034>
14. Garcia R. G., Almeida Paz I. C. L., Caldara F. R., Nääs I. A., Pereira D. F., Ferreira V. M. O. S. Selecting the Most Adequate Bedding Material for Broiler Production in Brazil. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2012;14(2):71–158. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2012000200006>
15. Fisinin V. I., Egorov I. A., Tsyganov A. R., Tomson A. E., Ponomarenko Yu. A., Fesina V. V., Lizun R. P., Martynenko A. A. Sorbent testing in poultry bedding. *Ptitsa i ptitseprodukty* = Poultry and Poultry Products. 2014;(3):28–30. (In Russ.).
16. Munir M. T., Belloncle C., Irle M., Federighi M. Wood-based litter in poultry production: a review. *World's Poultry Science Journal*. 2019;75(1):5–16. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933918000909>
17. Al-Homidan I. M., Fathi M., Al-Shumaymiri A. Chopped palm leaves as an acceptable bedding material for broiler production. *Journal of Applied Poultry Research*. 2018;27(1):59–64. DOI: <https://doi.org/10.3382/japr/pfx040>
18. Teixeira A. S., de Oliveira M. C., Menezes J. F. S., Gouvea B. M., Teixeira S. R., Gomes A. R. Poultry litter of wood shavings and sugarcane bagasse animal performance and bed quality. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 2015;28(3):238–246. DOI: <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v28n3a4>
19. Atencio J. L., Fernandes J. A., Gernat A. G., Murillo J. G. Effect of pine wood shavings, rice hulls and river bed sand on broiler productivity when used as a litter source. *International Journal of Poultry science*. 2010;9(3):240–243. DOI: <https://doi.org/10.3923/ijps.2010.240.243>
20. Temmoev M. I., Kulintsev V. V., Ulimbashev M. B. Litter for chickens on the base of zeolite "alanit" clay. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* = Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(3):172–177. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36293478>
21. Epimakhova E. E., Samokish N. V., Barsukova M. G. The relationship between the quality of bedding materials and the viability of broilers in the pre-start period. Topical issues of pathology, morphology and therapy of animals: materials of the 19th International Scientific Method. conf. on pathological anatomy of animals. Stavropol': *izd-vo «Agrus»*, 2018. pp. 157–160.
22. Epimahova E. E., Samokish N. B., Barsukova M. G. Effect bio-destructor of litter on broiler productivity. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018;9(6):1774–1778. URL: [https://www.rjpbcs.com/pdf/2018_9\(6\)/\[286\].pdf](https://www.rjpbcs.com/pdf/2018_9(6)/[286].pdf)
23. El-Ashram S., Abdelhafez G. A. Effects of phytogenic supplementation on productive performance of broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*. 2020;29(4):852–862. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.07.005>

24. Kamboh A. A., Leghari R. A., Khan M. A., Kaka U., Naseer M., Sazili A. Q., Malhi K. K. Flavonoids supplementation – An ideal approach to improve quality of poultry products. *World's Poultry Science Journal*. 2019;75(1):115–126. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933918000703>
25. Ognik K., Cholewinska E. I., Sembratowicz I., Grela E., Czech A. The potential of using plant antioxidants to stimulate antioxidant mechanisms in poultry. *World's Poultry Science Journal*. 2016;72(2):291–298. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933915002779>
26. Shatskikh E. V., Loretts O. G., Korol'kova-Subbotkina D. E., Drozdova L. I., Galiev D. M., Kravtsova L. Z., Polyakov P. S. Development of biotechnological approaches to increase the resistance of broiler chickens when using safe growth stimulants in the diet: scientific and practical recommendations. Ekaterinburg: *izd-vo Ural'skogo GAU*, 2020. 68 p. URL: http://repository.urgau.ru/images/NPR/Razrab_biot_podhodov_NPR_2020.pdf
27. Alagawany M., Elnesr S. S., Farag M. R. Use of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) in poultry nutrition: Global impacts on performance, carcass and meat quality. *World's Poultry Science Journal*. 2019;75(2):293–303. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933919000059>
28. Greene E. S., Emami N. K., Dridi S. Research Note: Phytobiotics modulate the expression profile of circulating inflammasome and cyto (chemo) kine in whole blood of broilers exposed to cyclic heat stress. *Poultry Science*. 2021;100(3):100801. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.055>
29. Ostapchuk P. S., Zubochenko D. V., Kuevda T. A. The role of antioxidants and their use in animal breeding and poultry farming (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(2):103–117. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.103-117>
30. Pashtetsky V., Ostapchuk P., Kuevda T., Zubochenko D., Yemelianov S., Uppe V. Use of phytobiotics in animal husbandry and poultry. *E3S Web of Conferences*. 2020;215:1–10. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021502002>
31. Mednova V. V., Saranyuk S. V. Modern methods of conducting research on egg and poultry production technology. *Nauchnyy zhurnal molodykh uchenykh*. 2020;(2(19)):47–55. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43033091>
32. Shatskikh E. V., Latypova E. N. Blood parameters and productivity of chickens when using phytobiotic preparations in the diet. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023;(8(237)):78–88. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-237-08-78-88>
33. Gorelik L. Sh., Gorelik O. V., Kharlap S. Yu., Derkho M. A. The pituitary-thyroid status of laying hens cross-country «Lomann-white». *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2018;7(174):11–14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36587093>
34. Troshina E. A. Current aspects of prevention and treatment of iodine deficiency disorders. Focus on risk groups. *Meditinskiy sovet = Medical Council*. 2016;(3):82–85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2016-3-82-85>
35. Hansen P. S., Brix T. H., Iachine I., Sørensen T. I. A., Kyvik K. O., Hegedüs L. Genetic and environmental interrelations between measurements of thyroid function in a healthy Danish twin population. *American Journal of Physiology, Endocrinology and Metabolism*. 2007;292(3):765–770. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00321.2006>
36. Cabello G., Wrutniak C. Thyroid hormone and growth: relationships with growth hormone effects and regulation. *Reproduction Nutrition Development*. 1989;29(4):387–402. DOI: <https://doi.org/10.1051/rnd:19890401>
37. Bustamam M. S. A., Pantami H. A., Shaari K., Min C. C., Mediani A., Ismail I. S. Immunomodulatory effects of *Isochrysis galbana* incorporated diet on *Oreochromis* sp. (red hybrid tilapia) via Sera-1H NMR metabolomics study. *Fish & Shellfish Immunology*. 2023;132(S1):108455. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.108455>

Сведения об авторах

Кувда Татьяна Алексеевна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отделения полевых культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-8605>

Зубоченко Денис Викторович, кандидат биол. наук, заместитель директора по производству и внедрению инновационных разработок, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>

✉ **Остапчук Павел Сергеевич**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отделения полевых культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>, e-mail: ostapchuk_p@niishk.site

Мягких Елена Фёдоровна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела эфиромасличных и лекарственных культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-7328>

Ахrameева Мария Александровна, младший научный сотрудник лаборатории переработки и стандартизации эфиромасличного сырья, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5558-8962>

Рейнштейн Людмила Николаевна, младший научный сотрудник отделения полевых культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5638-480X>

Сатаева Татьяна Павловна, доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой микробиологии, вирусологии и иммунологии, Институт «Медицинская академия имени С. И. Георгиевского», ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», бульвар Ленина, 5/7, г. Симферополь, Российская Федерация, 295007, e-mail: mi-office@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3154-3203>

Постникова Ольга Николаевна, старший преподаватель каф. микробиологии, вирусологии и иммунологии, Институт «Медицинская академия имени С. И. Георгиевского», ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», бульвар Ленина, 5/7, г. Симферополь, Российская Федерация, 295007, e-mail: mi-office@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2113-4107>

Шевкопляс Людмила Александровна, ассистент каф. микробиологии, вирусологии и иммунологии, Институт «Медицинская академия имени С. И. Георгиевского», ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», бульвар Ленина, 5/7, г. Симферополь, Российская Федерация, 295007, e-mail: mi-office@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1166-4585>

Information about the authors

Tatyana A. Kuevda, PhD in Biological Science, senior researcher, the Department of Field Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-8605>

Denis V. Zubochenko, PhD in Biological Science, Deputy Director for Production and Implementation of Innovative Developments, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>

✉ **Pavel S. Ostapchuk**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Field Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>, e-mail: ostapchuk_p@niishk.site

Elena F. Myagkikh, PhD in Biological Science, senior researcher, the Department of Essential Oil and Medicinal Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-7328>

Maria A. Ahrameeva, junior researcher, the Laboratory of Processing and Standardization of Essential Oil Raw Materials, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5558-8962>

Lyudmila N. Reinstein, junior researcher, the Department of Field Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5638-480X>

Tatiana P. Sataieva, DSc of Medical Science, professor, Head of the Department of Microbiology, Virology and Immunology, Institute «Medical Academy named after S. I. Georgievsky» of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Lenin Boulevard, 5/7, Simferopol, Russian Federation, 295051, e-mail: mi-office@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3154-3203>

Olga N. Postnikova, senior lecturer, the Department of Microbiology, Virology and Immunology, Institute «Medical Academy named after S. I. Georgievsky» of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Lenin Boulevard, 5/7, Simferopol, Russian Federation, 295051, e-mail: mi-office@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2113-4107>

Ludmila A. Shevkoplyas, assistant, the Department of Microbiology, Virology and Immunology, Institute «Medical Academy named after S. I. Georgievsky» of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Lenin Boulevard, 5/7, Simferopol, Russian Federation, 295051, e-mail: mi-office@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1166-4585>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.264-272>

УДК 619:616-07+633.8+615.015.21

Влияние фитобиотика с экстрактом *F. ulmaria* и лактобактериями на клинико-физиологический статус телят

© 2024. А. А. Ивановский✉

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Цель исследований – изучить влияние фитобиотической добавки на некоторые клинико-физиологические показатели организма телят молочного периода жизни (биохимические и морфологические показатели крови, прирост живой массы, резистентность к болезням). Предметом исследования являлся фитобиотик с условным названием Фитостим, основу которого составляют экстракт лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.) и лиофилизированная культура молочнокислых микроорганизмов. В эксперименте использовали телят голштинской породы, распределенных на опытную (Фитостим + традиционный рацион) и контрольную (традиционный рацион) группы по 12 голов в каждой. Начиная с 4-дневного возраста, телятам опытной группы в течение 30 суток ежедневно, индивидуально, перорально вводили Фитостим в дозе 3 грамма на голову после разведения в молоке. Исследование крови на морфологические (эритроциты, лейкоциты, гемоглобин, лейкоформула) и биохимические показатели (IgG, общий белок, альбумины, АЛТ, АСТ, креатинин) проводили на 10-й и 30-й дни опыта. К окончанию эксперимента в опытной группе телят, по сравнению с контролем, отмечено увеличение АЛТ ($8,0 \pm 0,01$ ед/л) – на 19,4 %, общего белка ($51,4 \pm 0,07$ г/л) – на 14,7 %, альбуминов ($44,0 \pm 0,01$ г/л) – на 15,4 %, креатинина ($41,5 \pm 0,001$ мкмоль/л) – на 10,9 %, иммуноглобулинов G ($5,9 \pm 0,01$ г/л) – на 18 %, лейкоцитов ($7,1 \pm 0,02 \times 10^9$ /л) – на 31 %. Исследуемые морфологические показатели крови (лейкоциты, эритроциты, гемоглобин, лейкоформула) не выходили за пределы референсных значений. У телят опытной группы выздоровление от энтерита наступало раньше на $1,8 \pm 0,3$ дня, чем у телят контрольной группы. Сохранность телят в обеих группах 100 %. Среднесуточный прирост массы тела у телят в опытной группе составил $0,811 \pm 0,12$ кг, что на 17,1 % превосходило результат в контроле.

Ключевые слова: лабазник, биохимия и морфология крови, прирост живой массы, телята, заболеваемость**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (тема FNWE-2022-0003).

Автор благодарит главного ветеринарного врача ООО «Агрофирмы Коршик» Оричевского района Кировской области И. Н. Попову, ветврача Н. Е. Пестову и студента факультета ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ Я. К. Широких за помощь в проведении исследований.

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.**Для цитирования:** Ивановский А. А. Влияние фитобиотика с экстрактом *F. ulmaria* и лактобактериями на клинико-физиологический статус телят. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):264–272.DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.264-272>

Поступила: 14.02.2024

Принята к публикации: 10.04.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

The influence of a phytobiotic with *F. ulmaria* extract and lactobacilli on the clinical and physiological status of calves

© 2024. Alexander A. Ivanovsky✉

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

Purpose of the research: to study the effect of a phytobiotic additive on some clinical and physiological parameters of the body of calves during the dairy period (biochemical and morphological blood parameters, live weight gain and disease resistance). The subject of the study was a phytobiotic with the code name Fitostim, which is based on an extract of meadow-sweet (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.) and a lyophilized culture of lactic acid microorganisms. The experiment used Holstein calves, divided into experimental (Fitostim + traditional diet) and control (traditional diet) groups of 12 animals each. Starting from 4 days of age, calves in the experimental group were administered Fitostim daily, individually, orally for 30 days at a dose of 3 grams per head, after dilution in milk. Blood tests for morphological (erythrocytes, leukocytes, hemoglobin, leukoformula) and biochemical parameters (IgG, total protein, albumin, ALT, AST, creatinine) were carried out on the 10th and 30th days of the experiment. By the end of the experiment, in the experimental group of calves, compared with the control, there was an increase in ALT (8.0 ± 0.01 units/l) by 19.4 %, total protein (51.4 ± 0.07 g/l) by 14.7 %, albumin

(44.0 ± 0.01 g/l) by 15.4 %, creatinine (41.5 ± 0.001 μ mol/l) by 10.9 %, immunoglobulin G (5.9 ± 0.01 g/l) by 18 %, leukocytes ($7.1 \pm 0.02 \times 10^9$ /l) by 31 %. The studied morphological blood parameters (leukocytes, erythrocytes, hemoglobin, leukoformula) did not go beyond the reference values. Recovery from enteritis in calves in the experimental group occurred earlier by 1.8 ± 0.3 days than in calves in the control group. Safety of calves is 100 %. The average daily increase in body weight in calves in the experimental group was 0.811 ± 0.12 kg, which was 17.1 % higher than the result in the control.

Keywords: meadowsweet, biochemistry and blood morphology, live weight gain, calves, morbidity

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0003).

The author thanks I. N. Popova, chief veterinarian of Agrofirma Korshik. Orichi district, Kirov region, veterinarian N. E. Pestova and Ya. C. Shirokikh, student of the Faculty of Veterinary Medicine of the Vyatka State Agrotechnological University for assistance in conducting research.

The author thanks the reviewers for their contributions to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author declared no conflict of interest.

For citations: Ivanovsky A. A. The influence of a phytobiotic with *F. ulmaria* extract and lactobacilli on the clinical and physiological status of calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):264–272. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.264-272>

Received: 14.02.2024

Accepted for publication: 10.04.2024

Published online: 24.04.2024

В связи с планированием перехода сельского хозяйства на органическое производство животноводческая отрасль нуждается в поголовье, которое бы сочетало высокую продуктивность и резистентность к неблагоприятным факторам, в том числе болезням различной этиологии. Устойчивость животных к болезням и иным негативным воздействиям зависит от множества механизмов иммунной защиты и адаптивных реакций каждого отдельно взятого организма. В раннем возрасте у молодняка наблюдают пониженную естественную резистентность, которая обусловлена незрелостью иммунокомпетентных систем. В процессе созревания молодого организма постепенно усиливаются гуморальные и клеточные факторы иммунитета, повышаются возможности адекватного ответа на внешние раздражители. Следовательно, влияние на организм с целью поддержки его гомеостаза и формирования естественных защитных механизмов становится одной из приоритетных задач ветеринарной и биологической науки в целом. Для решения данной задачи исследования ученых все больше концентрируются на разработке экологических биодобавок и фармпрепаратов, повышающих общую резистентность организма и нормализующих метаболические процессы в нем [1, 2, 3, 4].

Использование биологически активных веществ (БАВ) природного происхождения в ветеринарной медицине представляет определенный интерес, в первую очередь, благодаря их безопасности. Одним из главных источников получения БАВ естественного происхождения являются растения. Экстракты из лекарственных растений содержат витамины,

органические кислоты (оксibenзойные и оксикоричные), кумарины, флавоноиды, экидестероиды, каротиноиды и другие биологически активные соединения. Практически все из них обладают лечебно-профилактическим и регулирующим метаболизм действием, оказывают разностороннее влияние на работу органов и систем в организме животных и человека [5, 6]. Одними из самых перспективных веществ, продуцируемых растениями, являются флавоноиды. Это обширная группа фенольных соединений, обладающих антиоксидантной и иммуномодулирующей активностью [7, 8, 9, 10]. В числе наиболее биологически активных флавоноидов известен дигидрокверцетин (ДГК), присутствующий во многих лекарственных растениях. Исследования показали, что использование ДГК в питании свиней оказывало влияние на усиление интенсивности метаболизма, повышение выносливости животных в условиях стрессовых нагрузок, что проявлялось в более высоком содержании эритроцитов и величине гематокрита в сравнении с контролем [11]. Кроме того, установлено, что при экспериментальной кардиомиопатии у крыс курсовое применение водной фракции ДГК в дозе 15 мг/кг оказывает антиоксидантное действие, препятствующее развитию перекисного окисления липидов в сыворотке крови [12]. В исследовании на беременных самках крыс показано, что репродуктивная токсичность фталатов купировалась после интродустрального введения ДГК в дозах 10 и 20 мг на 1 кг массы тела [13].

Особый интерес вызывают фитобиотики – биологически активные комплексы, содержащие БАВ растений и других естественных

продуктов. При создании фитобиотических добавок используются экстракты, эфирные масла, органические кислоты, пробиотики, экидстероиды, флавоноиды и другие вещества [14]. Лабазник вязолистный (*Fillipendula ulmaria* (L.) Maxim.) является перспективным растением для создания фитобиотических добавок для животных. Экстракты и препараты из лабазника применяются в медицине при лечении ревматических поражений суставов, сахарном диабете, артралгии, энтероколитах, неврозах, мочекишечной дисфункции, нефритах и циститах, гипертонии, бронхитах и пневмонии, онкологических заболеваниях, при лечении змеиных укусов, гельминтозах и многих других патологических состояниях. В лечебных целях используется корневище, трава, цветы. Фитопрепараты из натурального сырья лабазника получают посредством экстракции водно-спиртовыми композициями. Проведенные исследования подтверждают антиоксидантное, антигипоксическое и гемореологическое действие лабазника¹ [15, 16]. При интродукационном введении мышам экстракта из лабазника наблюдается индуцирование иммунного ответа и противовоспалительных реакций [17]. В лабазнике содержатся: аскорбиновая кислота, салицилаты, эфирное масло, а также до 11,3 % различных флавоноидов и до 50,8 % танинов [18, 19].

Цель исследований – изучить влияние фитобиотической добавки на некоторые клинико-физиологические показатели организма телят молочного периода жизни: биохимические и морфологические показатели крови, прирост живой массы и резистентность к болезням.

Научная новизна – получение новых экспериментальных данных о фармакодинамике оригинальной фитобиотической добавки Фитостим на телятах-молочниках.

Материал и методы. Работа проводилась в лаборатории ветеринарной биотехнологии ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, областной ветеринарной лаборатории г. Киров и ООО «Агрофирма Коршик» Оричевского района Кировской области. Предметом исследования служил фитобиотик с условным названием Фитостим, содержащий экстракт лабазника вязолистного (*F. ulmaria*) и лиофилизированную культуру молочнокислых микро-

организмов (*L. plantarum*). Принцип наработки экстракта из фитосырья заключался в следующем: траву после сушки в термошкафу СЭШ-3М (при $T = 35-45\text{ }^{\circ}\text{C}$) до 18%-ной влажности и измельчения (до размера не более 1-2 мм) экстрагировали 70%-ным этанолом в течение 14 суток, затем экстракт проходил дегидратацию на адсорбенте в термошкафу при температуре $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение суток. В подготовленную субстанцию вносили культуру пробиотических микроорганизмов. В эксперименте, продолжительностью 30 суток, использовали телят голштинской породы молочного периода выращивания. Животные, подобранные для эксперимента, были распределены на опытную (Фитостим + основной рацион) и контрольную (основной рацион) группы по 12 голов в каждой. Телятам обеих групп выпаивали молоко в объеме 6 л на голову в сутки (по 2 л утром, днем и вечером). Начиная с 4-дневного возраста, телятам в рацион вводили престартерный комбикорм КК-62/1. Фитостим (порошкообразной консистенции) после разведения в молоке (из расчета 36 г на 360 мл) выпаивали телятам опытной группы в дозе 30 мл/гол в день. Таким образом, доза чистого сухого продукта составила 3 г на голову. В проведенных нами ранее экспериментах с фитодобавкой (Фитостимплус) на телятах была установлена оптимальная доза – 3,0 г на голову [20].

Кровь исследовали дважды на 10-й и 30-й дни опыта на морфологические (эритроциты, лейкоциты, гемоглобин, лейкоформула) и биохимические показатели (IgG, общий белок, альбумины, АЛТ, АСТ, креатинин). Биохимические и морфологические исследования крови проводили в соответствии с методиками². Содержание общего белка определяли рефрактометрическим методом, альбуминов и α -, β -, γ -фракций в сыворотке крови – нефелометрическим методом, аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспаратаминотрансферазы (АСТ) – унифицированным методом Райтмана-Френкеля, креатинин и мочевины – фотоколориметрическим методом, цинк-сульфатную пробу – химическим визуальным методом, иммуноглобулины (IgG) – иммунотурбидиметрическим методом.

¹Лабазник: виды, лечебные свойства, способы применения, противопоказания, рецепты. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tiensmed.ru/news/labaznik-e7f.html> (дата обращения: 15.01.2024).

²Кондрахин И. П., Архипов А. В., Левченко В. И., Таланов Г. А., Фролова Л. А., Новиков В. Э. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики. М.: Колос, 2004. 520 с.

Морфологические исследования крови. Подсчет лейкоцитов, эритроцитов проводили в камере Горяева, концентрацию гемоглобина определяли гемометром Сали типа ГС-3. Для подсчета лейкоцитарной формулы проводили окраску мазков крови по Романовскому-Гимзе. Подсчет лейкоцитарной формулы выполняли по способу Шиллинга с помощью 11-клавишного счетчика. Учет заболеваемости, прироста живой массы осуществляли по данным наблюдений и взвешивания животных в начале опыта и через 30 дней. Математическую обработку данных проводили методом вариационной статистики с помощью компьютерной программы Microsoft Office Excel при $P < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. По результатам ранее³ проведенных исследований уста-

новлено, что в экстракте лабазника в качестве основных действующих веществ представлены: салицилаты до 1,3 % (салициловый альдегид, метилсалицилат, борнилацетат, спиреин, гелицин, изсалицин), простые фенолы, фенолокси-лоты; флавоноиды до 10 % (кверцетин и его гликозиды); дубильные вещества антимикробного действия – полифенолы (танины) до 35 %. Концентрация молочнокислых бактерий в Фитостим составляет $4,0 \times 10^6$ КОЕ/г.

Исследование морфологических показателей крови телят показаны в таблице 1, из данных которой видно, что все исследуемые показатели крови телят в обеих группах находились в пределах референсных значений и не имели достоверных отличий друг от друга в начале опыта.

Таблица 1 – Морфологический анализ крови телят после применения фитобиотика Фитостим (n = 12 в группе, $M \pm m$)

Table 1 – Morphological blood analysis of calves after using Fitostim (n = 12 per group, $M \pm m$)

Показатель / Index	Референсные значения ⁴ / Reference values	Опытная группа / Experimental group		Контрольная группа / Control group	
		в начале опыта / at the beginning of the experiment	по окончании опыта / at the end of the experiment	в начале опыта / at the beginning of the experiment	по окончании опыта / at the end of the experiment
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	100,0- 130,0	103,5 \pm 0,3	105,8 \pm 0,1	104,5 \pm 0,3	103,3 \pm 3,6
Лейкоциты, 10^9 /л / Leukocytes, 10^9 /l	4,5-12	4,9 \pm 0,02	7,1 \pm 0,02*	5,0 \pm 0,03	5,4 \pm 0,23
Эритроциты, 10^{12} /л / Red blood cells, 10^{12} /l	5-7,5	6,0 \pm 0,02	5,8 \pm 0,01	6,1 \pm 0,07	5,3 \pm 0,22
Базофилы, % / Basophils, %	0-2	0	0	0	0
Эозинофилы, % / Eosinophils, %	3-8	0,3 \pm 0,01	0,3 \pm 0,02	0	1,0 \pm 0,02
Юные нейтрофилы, % / Young neutrophils, %	0	0	0	0	0
Палочкоядерные нейтрофилы, % / Band neutrophils, %	2-5	2 \pm 0,03	1,4 \pm 0,03	1,3 \pm 0,06	1,4 \pm 0,13
Сегментоядерные нейтрофилы, % / Segmented neutrophils, %	20-35	35,7 \pm 0,17	31,1 \pm 0,01	33,6 \pm 0,26	30,8 \pm 1,12
Лимфоциты, % / Lymphocytes, %	40-75	62 \pm 0,03	67,2 \pm 0,01	65,1 \pm 1,13	66,8 \pm 0,58
Моноциты, % / Monocytes, %	2-7	0	0	0	0

Примечания: Опыт – Фитостим + традиционный рацион, Контроль – традиционный рацион; * достоверно при $P < 0,05$ в сравнении опыта с контролем /

Notes: Experiment – Fitostim + traditional diet, Control – traditional diet; *At $P < 0.05$ it is significant in comparison with the control

³Ивановский А. А., Латушкина Н. А., Тимофеев Н. П. Растения как источник фитобиотиков и фармпрепаратов для животных. Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2022. 136 с.

⁴Шестакова А. М., Сапожников А. Ф., Варакина Ж. В. Клиническая оценка результатов лабораторных исследований в ветеринарной практике. Киров, 2009. 75 с.

Анализ крови телят через 30 дней после начала опыта показал, что лейкоциты у телят опытной группы ($7,1 \pm 0,02 \times 10^9/\text{л}$) достоверно ($P < 0,05$) превосходили таковой результат в кон-

троле ($5,4 \pm 0,23 \times 10^9/\text{л}$) на 31 %, находясь в пределах нормативных значений, как и все остальные исследуемые показатели. Биохимические показатели крови представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Биохимический анализ крови телят после применения фитобиотика Фитостим (n = 12 в группе, $M \pm m$) /

Table 2 – Biochemical blood test of calves after using Fitostim (n=12 per group, $M \pm m$)

Показатель / Index	Референсные значения ⁵ / Reference values	Опытная группа / Experimental group	Контрольная группа / Control group
В начале опыта / At the beginning of the experiment			
IgG, г/л / g/l	5,0-6,8	$6,0 \pm 0,1$	$5,3 \pm 0,1$
(АЛТ, ед/л / ALT, unit/l	5,0-14,0	$14,7 \pm 0,02^*$	$21,2 \pm 0,02$
АСТ, ед/л / AST, unit/l	38,0-65,0	$52,3 \pm 0,01$	$55,9 \pm 0,01$
Общий белок, г/л / Total protein g/l	56,5-59,1	$56,6 \pm 0,02$	$57,2 \pm 0,01$
Альбумин, г/л / Albumin g/l	30-50	$28,3 \pm 0,01$	$29,2 \pm 0,003$
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, Mkmol/l	39,6-157,2	$100,1 \pm 0,03$	$93,8 \pm 0,01$
Через 30 суток / 30 days after the start of the experiment			
IgG, г/л / g/l	5,5-6,8	$5,9 \pm 0,01^*$	$5,0 \pm 0,01$
(АЛТ, ед/л / ALT, unit/l	5,0-14,0	$8,0 \pm 0,01^*$	$6,7 \pm 0,34$
АСТ, ед/л / AST, unit/l	38,0-65,0	$35,6 \pm 0,02$	$31,1 \pm 1,0$
Общий белок, г/л / Total protein g/l	56,5-59,1	$51,4 \pm 0,07^*$	$44,8 \pm 3,3$
Альбумин, г/л / Albumin g/l	30-50	$44,0 \pm 0,01^*$	$38,1 \pm 1,14$
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, mkmol/l	39,6-157,2	$41,5 \pm 0,001^*$	$37,4 \pm 1,2$

* Достоверно при $P < 0,05$ в сравнении опыта с контролем / *At $P < 0.05$ it is significant in comparison with the control

По окончании эксперимента в опытной группе телят, по сравнению с контролем, отмечено увеличение АЛТ ($8,0 \pm 0,01$ ед/л) на 19,4 % ($6,7 \pm 0,34$ ед/л) ($P < 0,05$), общего белка ($51,4 \pm 0,07$ г/л) – на 14,7 % ($44,8 \pm 3,3$ г/л), альбумина ($44,0 \pm 0,01$ г/л) – на 15,4 % ($38,1 \pm 1,14$ г/л), креатинина ($41,5 \pm 0,001$ мкмоль/л) – на 10,9 % ($37,4 \pm 1,2$ мкмоль/л), IgG ($5,9 \pm 0,01$ г/л) – на 18 % ($5,0 \pm 0,01$ г/л), при этом исследуемые показатели, за исключением общего белка, находились в пределах референсных значений. Исходя из показателей крови телят, характеризующих белковый метаболизм (общий белок, альбумины), можно отметить, что на альбуминовую фракцию приходится более 85 % протеина сыворотки крови, что свидетельствует о снижении глобулиновой фракции и повышение альбумин-глобулинового коэффициента. Отклонение от нормы альбумин-глобулинового коэффициента в эксперименте на телятах-молочниках зарегистрировано и дру-

гими исследователями [21], что объясняется экссудативными процессами, наблюдаемыми при воспалительных явлениях в организме, вызванных респираторными, желудочно-кишечными и другими болезнями молодняка. Такие изменения могли быть следствием нарушения синтеза иммуноглобулинов IgG, которые являются основными иммуноглобулинами, обеспечивающими длительную гуморальную защиту организма, и составляют до 80 % от всех иммуноглобулинов крови, нейтрализуют инфекционные агенты, активируют фагоцитоз и систему комплемента. Данный класс антител способен проникать в межклеточное пространство и выполнять защитную функцию в тканях. IgG – единственный вид иммуноглобулинов, способный проникать через плаценту матери к плоду и защищать его от инфекций, с которыми ранее контактировала мать. Незначительное снижение IgG у телят в обеих группах к 30 дню жизни объясняется заболеванием

⁵Шестакова А. М., Сапожников А. Ф., Варакина Ж. В. Указ. соч.

половины животных энтеритами и естественной элиминацией антител, полученных с молозивом матери. У 50 % телят в обеих группах был диагностирован энтерит, который фиксировался в разные дни наблюдений – период с 14-го по 28-й день опыта. У заболевших животных отмечали угнетенное

состояние, снижение аппетита, учащенное дыхание, температура тела в начале болезни находилась в пределах нормы. Затем у телят появлялась диарея, повышалась температура ($39,3 \pm 0,3$ °C). Результаты мониторинга показателей заболеваемости телят представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели заболеваемости телят через 30 суток после начала опыта с фитобиотиком Фитостим ($M \pm m$; n = 12 в группе) /

Table 3 – Morbidity rates in calves 30 days after the start of the experiment with Fitostim ($M \pm m$; n = 12 per group)

Показатели / Indicators		Опытная группа / Experimental group	Контрольная группа / Control group
Заболело / Got sick	голов / goals	6	6
	%	50	50
Выздоровело / Recovered	голов / goals	6	6
	%	100	100
Продолжительность лечения, дни / Duration of treatment, days		$3,3 \pm 0,1$	$5,1 \pm 0,4$
Летальность, % / Mortality, %		0	0
Сохранность, % / Safety, %		100	100

Как видно из данных таблицы 3, после проведенного лечения в обеих группах (сенной отвар перорально, раствор Рингера-Локка в/в, гентамицин сульфат в/м) выздоровление у телят опытной группы наступало раньше на $1,8 \pm 0,3$ дня, чем у телят контрольной. В опытной группе средний показатель продолжительности лечения составил $3,3 \pm 0,1$ дня, в контрольной – $5,1 \pm 0,4$ дня. Летальных исходов не отмечено, сохранность телят в обеих груп-

пах составила 100 %. На наш взгляд, лучший результат терапии энтерита, полученный в опытной группе, характеризует показатель продолжительности болезни. Более ранние сроки выздоровления телят в опытной группе могут быть связаны с влиянием на функциональное состояние желудочно-кишечного тракта танинов и пробиотических микроорганизмов, присутствующих в фитобиотике. Результаты взвешивания телят приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели массы тела телят после применения фитобиотика Фитостим ($M \pm m$; n = 12 в группе) /

Table 4 – Indicators of body weight of calves after using Fitostim ($M \pm m$; n = 12 in the group)

Показатель / Indicator	Опытная группа / Experimental group		Контрольная группа / Control group	
	в начале опыта / at the beginning of the experiment	по окончании опыта / at the end of the experiment	в начале опыта / at the beginning of the experiment	по окончании опыта / at the end of the experiment
Живой вес, кг / Live weight, kg	$39 \pm 1,8$	$63,2 \pm 2,3$	$40,5 \pm 1,5$	$58,5 \pm 2,4$
Среднесуточный прирост массы, кг / Average daily weight gain, kg	-	$0,811 \pm 0,12^*$	-	$0,692 \pm 0,11$

* Достоверно при $P < 0,05$ в сравнении с контролем / * $P < 0.05$ compared to control

Из данных таблицы 4 следует, что показатели прироста живой массы телят в опытной группе получены выше, чем в контроле в среднем на 4,7 кг. Среднесуточный прирост

в опытной группе составил $0,811 \pm 0,12$ кг, что на 17,1 % превосходило результат в контроле ($P < 0,05$). Такой результат можно объяснить влиянием на метаболические процессы в орга-

низме телят комплекса БАВ, содержащихся в фитобиотике, в первую очередь это флавоноиды и пробиотические микроорганизмы.

Заключение. Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что по окончании эксперимента применения в рационе телятам-молочникам фитобиотика Фитостим отмечено увеличение в крови: АЛТ на 19,4 %; общего белка – на 14,7 %; альбумина – на 15,4 %; креатинина – на 10,9 %; IgG на 18 %. Показатели крови, характеризующие функци-

ональное состояние печени (АЛТ, АСТ) и почек (креатинин), соответствовали норме. Морфологические показатели крови не выходили за пределы референсных значений. Выздоровление от энтерита у телят опытной группы наступало на $1,8 \pm 0,3$ дня раньше, чем у контрольной, сохранность телят – 100 %. Среднесуточный прирост массы тела у телят опытной группы на 17,1 % превосходил результат в контроле и составил $0,811 \pm 0,12$ кг.

Список литературы

1. Martinez G., Mijares T., Michael R., De Sanctis J. Effects of flavonoids and its derivatives on immune cell responses. Recent Patents of Inflammation & Allergy Drug Discovery. 2019;13(2):84–104. DOI: <https://doi.org/10.2174/1872213X13666190426164124>
2. Caroprese M., Ciliberti M. G., Albenzio M. Application of aromatic plants and their extracts in dairy animals. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. 2020. pp. 261–277. DOI: <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0076>
3. Čabarkapa I., Puvača N., Popović S., Čolović D., Kostadinović L., Tatham E. K., Lević J. Aromatic plants and their extracts pharmacokinetics and in vitro/in vivo mechanisms of action. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. 2020. pp. 75–88. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00005-4>
4. Harrington D., Hall H., Wilde D., Wakeman W. Application of aromatic plants and their extracts in the diets of laying hens. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. 2020. pp. 187–203. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00011-X>
5. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Distribution of aromatic plants in the world and their properties. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. 2020. pp. 89–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6>
6. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative in vitro and in vivo systems. Archives of Toxicology. 2021;95:673–691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6>
7. Тарасов А. В., Бухаринова М. А., Хамзина Е. И. Определение антиоксидантной активности водных экстрактов некоторых растений Уральского региона. Индустрия питания. 2018;3(2):31–38. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-2-5> EDN: XSVNHN
8. Чугунова О. В., Пастушкова Е. В., Вяткин А. В. Практические аспекты использования плодового сырья при создании продуктов, способствующих снижению уровня оксидативного стресса. Индустрия питания. 2017;(2):57–63. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30290643> EDN: ZMWCLH
9. Akbarirad H., Gohari A. A., Kazemeini S. M., Mousavi R. A. An overview on some of important sources of natural antioxidants. International Food Research Journal. 2016;23(3):928–933. URL: [http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20\(03\)%202016/\(3\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20(03)%202016/(3).pdf)
10. Амосов В. В., Лапин А. А., Марков М. В., Зеленков В. Н. Антиоксидантная емкость водных и водно-спиртовых экстрактов лабазника камчатского (*Filipendula kamtschatica* Maxim). Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2009;(1):25–26.
11. Некрасов Р. В., Боголюбова Н. В., Семенова А. А., Насонова В. В., Полищук Е. К. Влияние дигидрокверцетина на клинические и биохимические показатели крови у свиней в условиях стрессовых нагрузок. Вопросы питания. 2021;90(1):74–84. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-1-74-84> EDN: CCXPSP
12. Хундерякова Н. В., Белослудцева Н. В., Хмиль Н. В., Мосенцов А. А., Степанов М. Р., Ананян М. А., Миронова Г. Д. Исследование влияния водорастворимой формы дигидрокверцетина при его введении *per os* на энергетический обмен в лимфоцитах крови крыс с экспериментальной кардиомиопатией. Вопросы питания. 2021;90(6):50–58. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-6-50-58> EDN: UOVAPO
13. Liu F., Ma Y., Xu Y. Taxifolin shows anticataractogenesis and attenuates diabetic retinopathy in STZ-diabetic rats via suppression of aldose reductase, oxidative stress, and MAPK signaling pathway. Endocrine, Metabolic & Immune Disorders – Drug Targets. 2020;20(4):599–608. DOI: <https://doi.org/10.2174/1871530319666191018122821>
14. Багно О. А., Прохоров О. Н., Шевченко С. А., Шевченко А. Н., Дядичкина Т. В. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственных животных (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2018;53(4):687–697. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus> EDN: UZBLPC

15. Башилов А. В. Применение *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim в рамках учения об адаптогенах. Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2012;11(4):86–90.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18642721> EDN: PRYXXH
16. Шалдаева Т. М., Высочина Г. И., Костикова В. А. Фенольные соединения и антиоксидантная активность некоторых видов *Filipendula* Mill. (Rosaceae). Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2018;(1):204–212.
Режим доступа: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2018/01/2018-01-26.pdf>
17. Чурин А. А., Масная Н. В., Шерстобоев Е. Ю., Шилова И. В. Влияние экстракта *Filipendula Ulmaria* на иммунную систему мышей СВА/СaЛас и С57BL/6. Экспериментальная и клиническая фармакология. 2008;71(5):32–36. Режим доступа: <http://www.ekf.folium.ru/index.php/ekf/article/view/822>
18. Высочина Г. И., Кукушкина Т. А., Шаладаева Т. М. Содержание основных групп биологически активных веществ в растениях сибирских видов *Filipendula* Mill. Химия растительного сырья. 2014;(2):129–135. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.1402129> EDN: STGQNR
19. Зыкова И. Д., Ефремов А. А. Эфирное масло *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim: степень изученности и современное состояние исследований. Химия растительного сырья. 2014;(3):53–60.
DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.1403053> EDN: TGUEWX
20. Ивановский А. А., Латушкина Н. А. Экспериментальный фитобиотик Фитостимплус и его применение телятам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(3):478–486.
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.478-486> EDN: FCPIET
21. Остякова М. Е., Черкашина В. К., Чехарь Н. С. Белок и его фракции у телят при бронхопневмонии. Аграрный вестник Урала. 2011;(8(87)):24.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17854918> EDN: PASSAD

References

1. Martinez G., Mijares T., Michael R., De Sanctis J. Effects of flavonoids and its derivatives on immune cell responses. Recent Patents of Inflammation & Allergy Drug Discovery. 2019;13(2):84–104.
DOI: <https://doi.org/10.2174/1872213X13666190426164124>
2. Caroprese M., Ciliberti M. G., Albenzio M. Application of aromatic plants and their extracts in dairy animals. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. 2020. pp. 261–277.
DOI: <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0076>
3. Čabarkapa I., Puvača N., Popović S., Čolović D., Kostadinović L., Tatham E. K., Lević J. Aromatic plants and their extracts pharmacokinetics and in vitro/in vivo mechanisms of action. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. 2020. pp. 75–88. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00005-4>
4. Harrington D., Hall H., Wilde D., Wakeman W. Application of aromatic plants and their extracts in the diets of laying hens. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. 2020. pp. 187–203. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00011-X>
5. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Distribution of aromatic plants in the world and their properties. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. 2020. pp. 89–114.
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6>
6. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative in vitro and in vivo systems. Archives of Toxicology. 2021;95:673–691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6>
7. Tarasov A. V., Bukharinova M. A., Khamzina E. I. Aqueous extracts antioxidant activity determination of some plants from the Ural region. *Industriya pitaniya* = Food Industry. 2018;3(2):31–38. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-2-5>
8. Chugunova O. V., Pastushkova E. V., Vyatkin A. V. Practical aspects of the fruit raw material usage while developing products aimed at oxidative stress decrease. *Industriya pitaniya* = Food Industry. 2017;(2):57–63. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30290643>
9. Akbarirad H., Gohari A. A., Kazemeini S. M., Mousavi R. A. An overview on some of important sources of natural antioxidants. International Food Research Journal. 2016;23(3):928–933.
URL: [http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20\(03\)%202016/\(3\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20(03)%202016/(3).pdf)
10. Amosov V. V., Lapin A. A., Markov M. V., Zelenkov V. N. Antioxidant capacity of aqueous and aqueous alcoholic extracts of *Filipendula kamtschatica* Maxim. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*. 2009;(1):25–26. (In Russ.).
11. Nekrasov R. V., Bogolyubova N. V., Semenova A. A., Nasonova V. V., Polishchuk E. K. Dihydroquercetin influence on clinical and biochemical blood parameters of pigs under conditions of stress load. *Voprosy pitaniya* = Problems of Nutrition. 2021;90(1):74–84. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-1-74-84>
12. Khundryakova N. V., Belosludtseva N. V., Khmil N. V., Mosentsov A. A., Stepanov M. R., Ananyan M. A., Mironova G. D. Effect of per os administration of dihydroquercetin aqueous form on energy exchange in blood lymphocytes of rats with experimental cardiomyopathy. *Voprosy pitaniya* = Problems of Nutrition. 2021;90(6):50–58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-6-50-58>

13. Liu F., Ma Y., Xu Y. Taxifolin shows anticataractogenesis and attenuates diabetic retinopathy in STZ-diabetic rats via suppression of aldose reductase, oxidative stress, and MAPK signaling pathway. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders – Drug Targets*. 2020;20(4):599–608.

DOI: <https://doi.org/10.2174/1871530319666191018122821>

14. Bagno O. A., Prokhorov O. N., Shevchenko S. A., Shevchenko A. N., Dyadichkina T. V. Use of phytobiotics in farm animal feeding. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2018;53(4):687–697. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus>

15. Bashilov A. V. The use of *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim in the framework of the doctrine of adaptogens. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta* = Vestnik of Vitebsk State Medical University. 2012;11(4):86–90. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18642721>

16. Shaldaeva T. M., Vysochina G. I., Kostikova V. A. Phenolic compounds and antioxidant activity of some species of the genus *Filipendula* Mill. (Rosaceae). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* = Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2018;(1):204–212. (In Russ.). URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2018/01/2018-01-26.pdf>

17. Churin A. A., Masnaya N. V., Sherstoboev E. Yu., Shilova I. V. Effect of *Filipendula Ulmaria* extract on immune system of Cba/CaLac and C57BL/6 mice. *Ekspierimental'naya i klinicheskaya farmakologiya* = Experimental and Clinical Gastroenterology. 2008;71(5):32–36. (In Russ.).

URL: <http://www.ekf.folium.ru/index.php/ekf/article/view/822>

18. Vysochina G. I., Kukushkina T. A., Shaladaeva T. M. The content of the main groups of biologically active substances in plants of the siberian species of *Filipendula* Mill. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2014;(2):129–135. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.1402129>

19. Zyкова I. D., Efremov A. A. Essential oil of *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim: the degree of scrutiny and the current state of research. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2014;(3):53–60. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.1403053>

20. Ivanovsky A. A., Latushkina N. A. Experimental phytobiotic Phytostimplus and its application to calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):478–486. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.478-486>

21. Ostyakova M. E., Cherkashina V. K., Chekhar N. S. Fiber and its fractions at телят at the inflammation of bronchial tubes and lungs. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2011;(8(87)):24. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17854918>

Сведения об авторе

✉ **Ивановский Александр Александрович**, доктор вет. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией ветбиотехнологии, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2984-7219>, e-mail: ivanovskii.1956@mail.ru

Information about the author

✉ **Alexander A. Ivanovsky**, DSc in Veterinary Science, leading researcher, Head of the Laboratory of Veterinary Technology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2984-7219>, e-mail: ivanovskii.1956@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.273-282>

УДК 631.331.8



Результаты сравнительного исследования сошниковых групп сеялки полосного посева семян трав в дернину

© 2024. В. А. Сысуев, С. Л. Дёмшин✉, С. В. Гайдидей, Д. А. Зырянов
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Для эффективного использования дернинных сеялок СДК в условиях деградированных кормовых угодий необходимо модернизировать конструкцию их сошниковой группы для работы в условиях высокой влажности почвы и повышенного содержания в ней растительных остатков. Предложен способ полосного посева, в основе которого использован перенос высеваящих рабочих органов из-под кожуха фрезерного бороздовскрывателя, и конструктивно-технологическая схема сошниковой группы с креплением сошника килевидного типа на механизме подвеса в виде пружин кручения. Сошниковая группа включает грядиль крепления на сеялке, механизм подвеса, килевидные сошники, катки, механизмы регулировки положения сошников в вертикальной и горизонтальной плоскости и усилия заглубления сошников и давления катков на почву. По сравнению с сошниковой группой сеялок СДК ее масса (19,6 кг) снижена на 3,8 кг при увеличении общей длины сеялки на 0,12 м. Для оценки эффективности работы модернизированной сошниковой группы дернинной сеялки проведены экспериментальные исследования в полевых условиях, в процессе которых определены показатели качества заделки семян при использовании серийной сошниковой группы сеялок СДК и опытного образца сошниковой группы. Сравнительные исследования сошниковых групп дернинной сеялки показали, что при посеве козлятника восточного глубина заделки семян соответствует агротехническим требованиям и составляет: для сошниковой группы сеялки СДК – 19,4...22,4 мм, для опытного образца – 18,6...19,5 мм, причем для опытного образца значение среднего квадратического отклонения почти в два раза ниже. Равномерность распределения семян по ширине полосы для сошниковой группы сеялки СДК составляет 20,2...26,1 мм, для опытного образца – 8,4...10,1 мм.

Ключевые слова: дернинная сеялка, фрезерный бороздовскрыватель, пружина кручения, сошник килевидный, каток прикатывающий, показатели качества посева

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0002).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Гайдидей С. В., Зырянов Д. А. Результаты сравнительного исследования сошниковых групп сеялки полосного посева семян трав в дернину. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):273–282. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.273-282>

Поступила: 25.01.2024

Принята к публикации: 03.04.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

Results of a comparative study of coulters groups of a seeder for strip sowing of grass seeds in the sod

© 2024. Vasiliiy A. Sysuev, Sergey L. Demshin✉, Sergey V. Gaididei, Dmitry A. Zyryanov

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

For the effective use of sod seeders SDK in conditions of degraded forage lands, it is necessary to modernize the design of their coulters group to work in conditions of high soil moisture and increased content of plant residues in it. A method of strip sowing is proposed, which is based on the removal of the sowing working elements from under the casing of a milling furrow opener, and a design and technological scheme of the coulters group with a shoe opener mounted on a suspension mechanism in the form of torsion springs. The coulters group includes a mounting bracket on a seeder, a suspension mechanism, shoe openers, rollers, mechanisms for adjusting the position of coulters in the vertical and horizontal planes and the forces of deepening coulters and the pressure of rollers on the soil. Compared to the coulters group of SDK seeders, its weight (19.6 kg) is reduced by 3.8 kg while the total length of the seeder increases by 0.12 m. To assess the efficiency of the modernized coulters group of the sod seeder, experimental studies were carried out in the field, during which the quality indicators of seed

placement were determined when using a serial coulter group of SDK seeders and a prototype coulter group. Comparative studies of coulter groups of a sod seeder showed that when sowing Eastern galega, the depth of seed placement complies with agrotechnical requirements and is: for the coulter group of SDK seeder – 19.4...22.4 mm, for the prototype – 18.6...19.5 mm, and for the prototype the value of the standard deviation is almost two times lower. The uniformity of the distribution of seeds over the width of the strip for the coulter group of the SDK seeder is 20.2...26.1 mm, for the prototype – 8.4...10.1 mm.

Keywords: *sod seeder, milling furrow opener, torsion spring, shoe opener, packing roller, sowing quality indicators*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme № FNWE-2022-0002).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests.

For citation: Sysuev V. A., Demshin S. L., Gaididei S. V., Zyryanov D. A. Results of a comparative study of coulter groups of a seeder for strip sowing of grass seeds in the sod. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):273–282. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.273-282>

Received: 25.01.2024

Accepted for publication: 03.04.2024

Published online: 24.04.2024

Для успешного развития производства продукции животноводства в условиях Северо-Востока России, соответствующей требованиям органического земледелия, необходимо решить проблему обеспечения экологически чистыми кормами сбалансированного рациона животных [1, 2, 3]. Регион обладает обширными площадями деградированных кормовых угодий и залежных земель, которые могут быть введены в производственный оборот достаточно быстро и недорого, но на практике отсутствуют эффективные ресурсосберегающие технологии их рекультивации, удовлетворяющие экологическим требованиям [4, 5]. Наиболее перспективной из существующих является агротехника, базирующаяся на прямом полосном посеве семян трав в дернину с механическим разрушением полосы дернины шириной не менее, чем необходимо для успешного прорастания семян и развития всходов без использования гербицидов для подавления ценотических связей и снижения конкуренции за факторы среды в ценозе [6, 7, 8, 9], для осуществления которой разработано семейство дернинных сеялок с фрезерными бороздовскрывателями [10, 11, 12, 13]. Метод разработан для применения на лугах и пастбищах, поддерживаемых в продуктивном состоянии, поэтому для эффективного использования в условиях деградированных кормовых угодий и залежных земель его агротехника и конструкция дернинных сеялок должны быть адаптированы к ним. Одной из задач модернизации дернинных сеялок СДК является совершенствование сошниковой группы для повышения качества высева семян трав в условиях высокой влажности почвы и повышенного содержания в ней растительных остатков.

Цель исследования – оценка эффективности функционирования в полевых условиях

сошниковой группы дернинной сеялки с механизмом подвеса на базе пружин кручения.

Новизна исследований – в процессе сравнительных исследований сошниковых групп дернинной сеялки СДК получены данные по агротехническим показателям качества посева семян трав, позволяющие оценить эффективность функционирования модернизированной сошниковой группы.

Материал и методы. Основным недостатком технологического процесса полосного посева семян трав в дернину, осуществляемого сошниковой группой (рис. 1), которой оснащаются сеялки СДК (ОАО ВМП «Авитек», г. Киров), является то, что высев семян трав и гранул минеральных удобрений производится через туко- и семянаправители под кожух фрезерного бороздовскрывателя [14, 15]. Данное решение, наряду с рядом преимуществ: компактность и простота конструкции, достаточно высокое качество посева семян трав и высева гранул минеральных удобрений при правильной настройке заделывающих органов и соблюдении агротехнических требований – обладает и существенными недостатками.

Основным из которых является то, что размещённые под кожухом дисковой фрезы заделывающие органы служат концентратором налипания частиц почвы, что в дальнейшем при обработке влажной почвы приводит к забиванию подкожухового пространства измельченной почвой и растительными остатками. Налипшая почва препятствует вращению фрез и поднимает заднюю часть кожуха, тем самым нарушая технологический процесс обработки почвы и посева. Учитывая то, что наиболее благоприятные условия для прямого посева семян трав в дернину природных кормовых угодий и дальнейшего развития их всходов ограничены весенним периодом от схода снега

и обсыхания почвы от талых вод и до отращения травостоя на высоту до 10...12 см, для которого характерна повышенная влажность почвы, это является существенным ограничивающим фактором применения сеялок СДК. Также при модернизации сошниковой группы

должен быть решен вопрос оптимального размещения семян и гранул минеральных удобрений в почве, при котором семена высеваются на уплотнённое ложе, а под ним находятся минеральные удобрения.

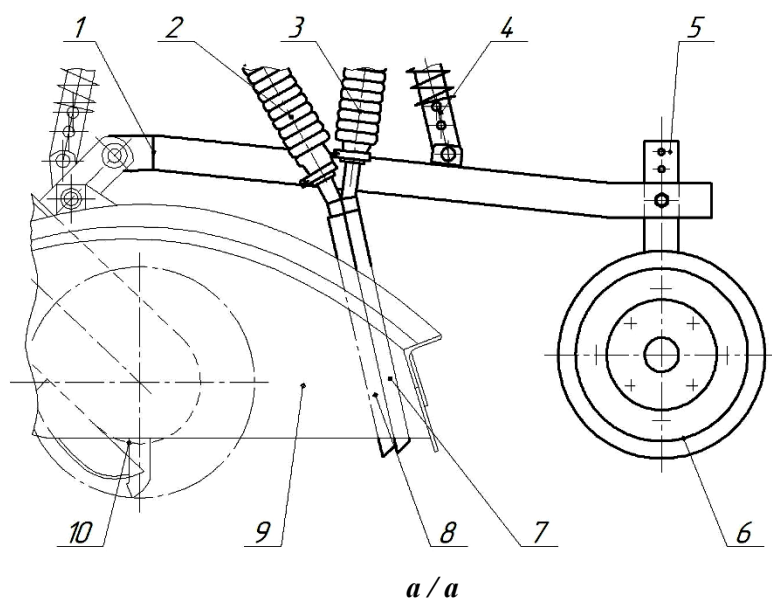


Рис. 1. Сошниковая группа сеялок СДК (ОАО ВМП «Авитек», г. Киров) полосного посева семян трав в дернину: а – общая схема, б – при проведении испытаний: 1 – грядиль; 2 – тукопровод; 3 – семяпровод; 4 – штанга нажимная; 5 – кронштейн катков; 6 – каток; 7 – семянаправитель; 8 – туконаправитель; 9 – кожух; 10 – фреза дисковая /

Fig. 1. Coulter group of the SDK seeders (VMP Avitek, Kirov) for strip sowing of grass seeds in the sod: а – general scheme, b – during testing: 1 – mounting bracket; 2 – fertilizer line; 3 – seed line; 4 – pressure rod; 5 – roller bracket; 6 – roller; 7 – seed guide; 8 – fertilizer guide; 9 – casing; 10 – disc milling cutter

Для повышения качества и надежности процесса высева семян трав сеялками СДК предложен способ полосного посева [14, 15], в основе которого использован вынос высевающих рабочих органов из-под кожуха фрезерного бороздовскрывателя, что потребовало разработки компактной сошниковой группы. На основе данных, полученных в процессе исследований [16, 17, 18], предложена конструктивно-технологическая схема сошниковой группы с креплением сошника килевидного типа на механизме подвеса в виде пружин кручения (рис. 2), обеспечивающая высокую равномерность глубины бороздообразования и посева, снижение трудоёмкости и повышение точности настройки туко- и семязаделывающих органов сеялки при сохранении компактности конструкции.

Совместное использование в механизме подвеса пружин кручения, жёстко закрепленных на раме, и пружин кручения, жёстко установленных на подвижной оси, усилие которых можно регулировать относительно равновесного положения в диапазоне от отрицательных

до положительных значений за счёт изменения угла поворота оси, позволяет точно настраивать величину усилия заглубления сошника, необходимую для преодоления сопротивления почвы, соответствующего заданной глубине хода сошника.

Сошниковая группа включает грядиль крепления на сеялке, механизм подвеса, килевидные сошники, прикатывающие катки, механизмы регулировки положения сошников в вертикальной и горизонтальной плоскости и усилия заглубления сошников и давления катков на почву (рис. 2, а). Жёсткость пружины кручения составляет 110 Н·м/рад, длина поводков 140 мм, масса сошника 2,2 кг, диаметр катка 200 мм, ширина катка 70 мм. В качестве рабочего органа использован сошник килевидного типа сеялки Tume KL 2500 (Финляндия). По сравнению с сошниковой группой сеялок СДК, включающей семянаправители и прикатывающие катки, масса разработанной конструкции (19,6 кг) снижена на 3,8 кг при увеличении общей длины сошниковой группы сеялки на 0,12 м.

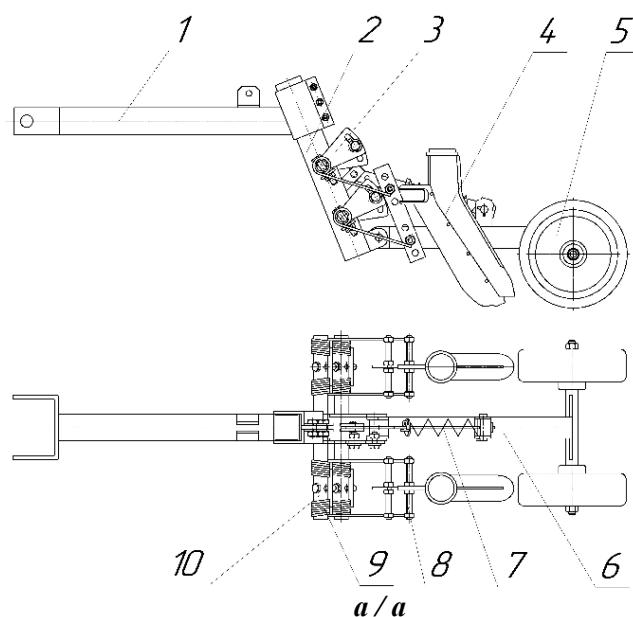


Рис. 2. Опытный образец сошниковой группы сеялки полосного посева семян трав в дернину:
а – общая схема, *б* – при проведении испытаний: 1 – грядиль; 2 – рама крепления; 3 – сектор регулировочный;
4 – сошник; 5 – каток; 6 – поводок; 7 – штанга нажимная; 8 – механизм регулировки положения сошника;
9 – пружина кручения; 10 – кронштейн крепления /

Fig. 2. A prototype of the coulter group of a strip seeder for sowing grass seeds in the sod: *a* – general scheme, *b* – during testing: 1 – mounting bracket; 2 – mounting frame; 3 – adjustment sector; 4 – opener; 5 – roller; 6 – leash; 7 – pressure rod; 8 – mechanism for adjusting the position of the opener; 9 – torsion spring; 10 – mounting bracket

Для оценки эффективности работы предложенной конструкции сошниковой группы дернинной сеялки проведены экспериментальные исследования, в процессе которых определены показатели качества заделки семян при использовании серийной сошниковой группы сеялок СДК и опытного образца сошниковой группы. Опыт в полевых условиях осуществлен на опытном образце сеялки СДК-2,8М, агрегируемой с трактором МТЗ-82. Конструкция опытного образца сеялки позволяет одновременно устанавливать различные типы сошниковых групп, что обеспечивает сравнение качества их функционирования в одинаковых условиях. В опыте задействованы две фрезерные секции сеялки, оснащенные серийно выпускаемой сошниковой группой сеялок СДК и опытным образцом сошниковой группы (рис. 3).

Полевые исследования сеялки проводили на типичной для природно-климатических условий Северо-Восточного региона европейской части России дерново-подзолистой среднесуглинистой почве при влажности 13,7 %, плотности 1,46 г/см³, твёрдости: в слое до 100 мм

– 2,46 МПа, в слое 100-200 мм – 3,19 МПа, которые определялись перед проведением опыта в пяти точках участка (в центре и 4 угловых точках) в соответствии с ГОСТ 20915-2011¹. Высота стерни 181 мм, задернение пласта – 12,1 г/дм³, толщина дернового слоя – 75 мм. В ходе испытаний производили посев семян козлятника восточного в стерню разнотравного травостоя. Установленная норма высева семян равнялась 5,0 кг/га, заданная глубина заделки семян – 20 мм. Посев проводили после скашивания отавы при высоте стерни более 180 мм, что существенно превышает значение, заложенное в техническом задании (ТЗ) на разработку дернинных сеялок СДК – не более 100 мм.

Для корректного сравнения эффективности функционирования исследуемых сошниковых групп также определены основные параметры почвы в обработанной полосе после прохода фрезерного бороздоразкрывателя дернинной сеялки: процентное содержание фракций $K\%$, %, плотность почвы ρ , г/см³, глубина $h_{пол}$, мм, ширина профрезерованной полосы $a_{пол}$, мм. Результаты замеров представлены в таблице.

¹ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 27 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293788/4293788522.pdf>



Рис. 3. Опытный образец дернинной сеялки СДК-2,8М при проведении исследований сошниковых групп в полевых условиях /

Fig. 3. A prototype of the SDK-2.8M sod seeder during research of coulter groups in the field

Таблица – Основные параметры почвы после прохода фрезерного боророздовскрывателя /
Table – Basic soil parameters after passage of a milling furrow opener

Наименование / Name	Скорость движения, м/с / Movement speed, m/s				
	0,53	0,89	1,18	1,52	1,87
Степень крошения почвы, % / Degree of soil crumbling, %:					
фракции, мм / fractions, mm: до 3 / up to 3	46,31	36,51	32,21	38,58	32,64
3...10	35,38	37,01	41,16	38,96	41,46
10...30	13,73	17,28	19,56	16,9	17,79
более 30 / more 30	5,58	9,2	7,09	5,56	8,1
Глубина обработки, мм / Depth of tillage, mm	65,5	65,8	62,1	61,0	64,6
Ширина обработки, мм / Width of tillage, mm	110,2	113,6	114,7	116,8	116,5

В ходе опыта регистрировали показатели равномерности распределения сошниковыми группами сеялки семян трав по глубине заделки, разброса их относительно осевой линии обработанной полосы и плотности почвы после прохода прикатывающих катков.

Для определения глубины заделки семян использовали метод непосредственного нахождения их в почве в соответствии с ОСТ 10 5.1-2000². Для этого почва в местах прохода сошниковых групп осторожно вскрывалась путем ее послойного смещения поперек хода сеялки до нахождения нескольких семян в каждом ряду. Затем со стороны ненарушенной поверхности почвы вдоль ряда накладывали линейку так, чтобы один ее край располагался над рядом вскрытых семян, и изме-

ряли расстояние от семян до нижней стороны линейки. Погрешность измерения – ± 1 мм. Число измерений по каждой сошниковой группе не менее 15.

Равномерность распределения семян по ширине полосы определяли следующим методом: в строчке высеянных семян трав на отрезке 0,5...0,6 м выявляли расположение двух крайних к стенке борозды и находящихся примерно на одном расстоянии от неё семян, по этим точкам накладывали линейку и производили замеры расстояний от вскрытых семян путем послойного смещения почвы в сторону, до края линейки. Погрешность измерения – ± 1 мм. Число замеров по каждой сошниковой группе не менее 40.

²ОСТ 10 5. 1-2000. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Методы оценки функциональных показателей. Взамен РД 10 5.1-91. М.: Минсельхозпрод России, 2000. III, 72 с.

Результаты и их обсуждение. Анализ показателей качества полосной обработки почвы свидетельствует о том, что фрезерные бороздовскрыватели дернинной сеялки выполняют её на достаточно высоком уровне во всем исследуемом интервале скоростей машинно-тракторного агрегата (МТА). Степень крошения почвы, показатели стабильности глубины и ширины профрезерованной полосы, несмотря на значительно превосходящую предписания ТЗ на условия эксплуатации сеялки высоту стерни, превышают или соответствуют агротехническим требованиям. Высокое содержание растительных остатков, измельченных

фрезой, вкупе с повышенной твёрдостью почвы, вызванной засухливой погодой, обусловили значения плотности почвы в полосах на нижнем пределе допустимого для посева семян трав.

После обработки полученных данных построены графические зависимости влияния скорости движения МТА на распределение высеянных семян по глубине и ширине обработанной полосы в полевых условиях (рис. 4). Основными показателями качества заделки семян согласно ГОСТ 31345-2017³ являются глубина положения семян h_c , мм, в почве, ее среднее квадратическое отклонение σ , мм, и коэффициент вариации v , %.

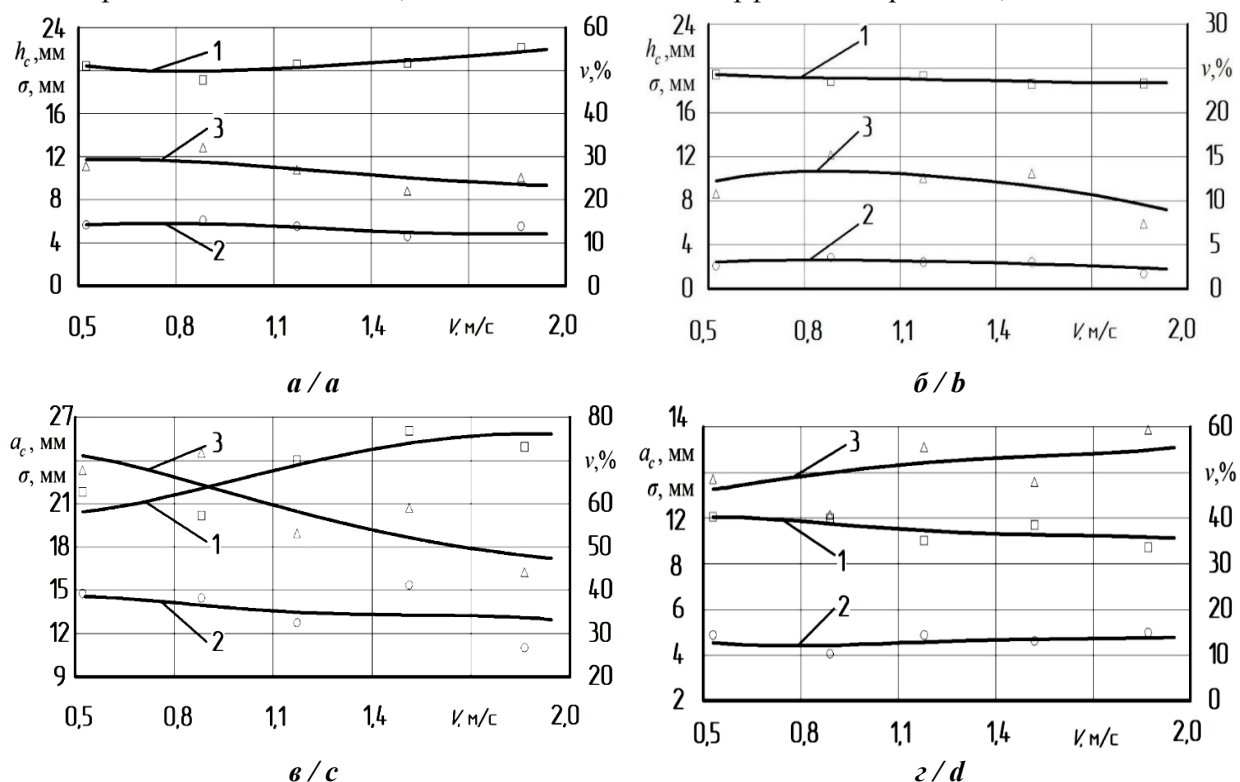


Рис. 4. Зависимости показателей качества заделки семян по глубине (а, б) и распределения семян по ширине полосы (в, г) от скорости: а, в – сошниковая группа сеялок СДК; б, г – опытный образец сошниковой группы: 1 – среднее значение; 2 – среднее квадратическое отклонение; 3 – коэффициент вариации /

Fig. 4. The dependence of the quality indicators of seed sowing in depth (a, b) and the distribution of seeds along the width of the strip (c, d) on the speed: a, c – the coulter group of the SDK seeders; b, d – the prototype of the coulter group: 1 – average value; 2 – standard deviation; 3 – coefficient of variation

В целом анализ результатов полевого эксперимента показал, что независимо от варианта сошниковой группы, глубина заделки семян козлятника восточного соответствует агротехническим требованиям и составляет при посеве серийным сошником – 19,4...22,4 мм, опытным образцом сошниковой группой – 18,6...19,5 мм (рис. 4, а, б). С ростом скорости

движения МТА глубина высева семян сошниковой группой сеялок СДК незначительно повышается с 19,4 до 22,4 мм, глубина заделки семян для опытного образца практически постоянна – 18,6...19,5 мм, причем для сошниковой группы сеялок СДК значение среднего квадратического отклонения почти в два раза превышает значение данного показателя для опытного образца.

³ГОСТ 31345-2017. Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2018. 58 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293733/4293733842.pdf>

Данные по равномерности распределения семян по ширине фрезеруемой полосы свидетельствуют о том, что качество выполнения посева опытным образцом сошниковой группы полностью соответствует требованиям ТЗ и положениям, заявленным в патенте РФ №2641073 «Способ полосного посева семян трав в дернину и сеялка для его осуществления» [14]. Основой данного способа является выполнение посева семян трав вдоль центральной оси профрезерованной в дернине полосы на уплотненном слое почвы, что позволяет достичь минимального влияния на прорастание и развитие всходов со стороны аборигенной растительности существующего биоценоза.

Среднее значение равномерности распределения семян по ширине полосы для сошниковой группы сеялок СДК в 2,0...2,5 раза превышает значение данного показателя для опытного образца заделывающего органа (рис. 4, в, г). Так, для серийной сошниковой группы разброс семян относительно центральной оси строчки высева составляет $a_c = 20,2...26,1$ мм, для опытного образца – $a_c = 8,4...10,1$ мм. При этом необходимо учитывать, что на сошнике килевидного типа сеялки Tume KL 2500 установлен распределитель семян, что несколько увеличивает ширину строчки высева семян. Возрастание скорости движения при исполь-

зовании серийной сошниковой группы приводит к увеличению неравномерности распределения семян по ширине полосы на 12,4...22,5 %, для опытного образца – изменение скорости не оказывает существенного влияния на данный показатель.

Замена используемых на сеялках СДК прикатывающих катков Ø 300 мм и шириной 100 мм на катки Ø 200 мм и шириной 70 мм вызвана тем, что в случае примерно равных значений ширины фрезеруемой полосы (110 мм) и катка (100 мм) нередко встречались случаи плохого уплотнения почвы в полосе после посева, вызванные уменьшением ширины полосы при износе ножей фрезы или смещением катков с оси полосы при непрямолинейном движении сеялки, а также необходимостью снизить металлоёмкость и габариты сошниковой группы. Кроме того, меньшее пятно контакта в зоне прикатывания должно обеспечить сопоставимое давление на почву при значительно меньшей металлоёмкости конструкции.

Анализ полученных значений плотности почвы после посева показал (рис. 5), что опытный образец сошниковой группы с катками меньшей ширины осуществляет послепосевное прикатывание с $\rho = 1,16...1,22$ г/см³, что соответствует оптимальным значениям плотности почвы при посеве семян трав – $\rho = 1,1...1,3$ г/см³.

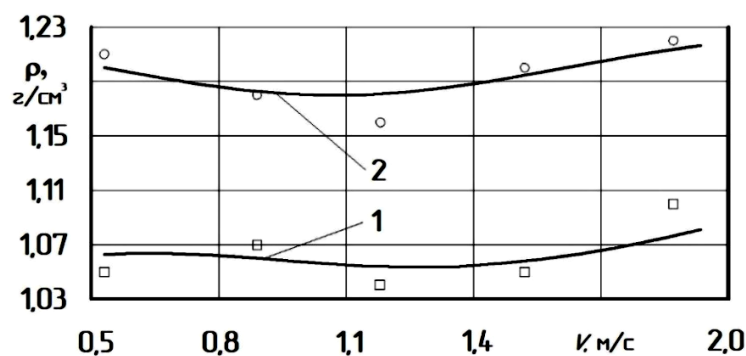


Рис. 5. Влияние конструкции сошниковой группы на плотность почвы после прикатывания в исследуемом диапазоне скоростей движения: 1 – сошниковая группа сеялок СДК; 2 – опытный образец сошниковой группы /

Fig. 5. Influence of the design of the coulters group on the density of the soil after compacting in the studied range of movement speeds: 1 – coulters group of SDK seeders; 2 – prototype of the opener group

Сошниковая группа сеялок СДК выполняет заделку семян трав на нижнем уровне оптимальных значений плотности почвы при посеве. Наличие у опытного образца сошниковой группы механизма регулировки давления катков на почву позволяет подобрать необходимое усилие на прикатывающих катках для достижения требуемого значения плотности почвы.

Таким образом, независимо от варианта сошниковой группы, глубина заделки семян козлятника восточного соответствует агротехническим требованиям (глубина посева 15...25 мм [19, 20]) и составляет: при посеве серийным сошником – 19,4...22,4 мм, опытным образцом сошниковой группы – 18,6...19,5 мм. Среднее значение равномерности распределения семян по ширине полосы для сошниковой группы

сеялок СДК составляет $a_c = 20,2...26,1$ мм, для опытного образца – $a_c = 8,4...10,1$ мм, при этом рост скорости для серийной группы увеличивает неравномерность распределения семян на 12,4...22,5 %, для опытного образца сошниковой группы изменение скорости не влияет на данный показатель.

Результаты сравнительного исследования сошниковых групп сеялок СДК показали, что обе конструкции заделывающих органов выполняют прямой полосной посев семян трав в дернину с достаточно высоким качеством. При этом надо учитывать низкую влажность почвы при проведении полевого опыта, что нивелирует преимущества выноса сошниковой группы из-под защитного кожуха фрезы, а также то, что сошники килевидного типа формируют уплотненное дно бороздки и осуществляют высев семян на уплотненное ложе, создавая тем самым наиболее благоприятные условия для прорастания семян и развития всходов.

Выводы. 1. Разработана сошниковая группа дернинных сеялок СДК, включающая

механизм подвеса на базе пружин кручения, килевидные сошники, катки, механизмы регулировки положения сошников, их усилия заглубления и давления катков на почву. Жесткость пружины кручения составляет 110 Н·м/рад, длина поводка 0,14 м, масса сошника 2,2 кг, каток диаметром 0,2 м и шириной 0,07 м. По сравнению с сошниковой группой сеялок СДК, масса опытного образца (19,6 кг) снижена на 3,8 кг при увеличении общей длины на 0,12 м.

2. Сравнительные исследования сошниковых групп дернинной сеялки показали, что при посеве козлятника восточного глубина заделки семян соответствует агротехническим требованиям и составляет: для сошниковой группы СДК – 19,4...22,4 мм, для опытного образца – 18,6...19,5 мм, причем для опытного образца значение среднего квадратического отклонения почти в два раза ниже. Равномерность распределения семян по ширине полосы для сошниковой группы СДК составляет $a_c = 20,2...26,1$ мм, для опытного образца – $a_c = 8,4...10,1$ мм.

Список литературы

1. Папцов А. Г., Алтухов А. И., Кашеваров Н. И., Першукевич П. М., Денисов А. С., Рудой Е. В., Петухова М. С., Капустянчик С. Ю., Добрянская С. Л., Поцелуев О. М., Садохина Т. А., Петров А. Ф., Рюмкин С. В., Галеев Р. Р., Полунин Г. А., Таран В. В., Соколова Ж. Е. Прогноз научно-технологического развития отрасли растениеводства, включая семеноводство и органическое земледелие России, в период до 2030 года. Новосиб. гос. аграр. ун-т, Сиб. федер. центр агробиотехнологий РАН, ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, ФНЦ ВНИИЭСХ. Новосибирск: изд-во НГАУ «Золотой колос», 2019. 100 с.
Режим доступа: <https://nsau.edu.ru/file/757891?get=a70a565f4138c62b15edaa38529cfac2>
2. Хухта Х., Минин В. Б. Основные принципы органического сельского хозяйства. Санкт-Петербург: АСПИРСТ; Миккелли, 2014. 40 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007979139>
3. Семенас С. Органическое сельское хозяйство: практическая книга для фермеров. Минск: Агро-Эко-Культура, 2018. 138 с. Режим доступа: https://agracultura.org/wp-content/uploads/2019/08/organic_practice_book.pdf
4. Лазарев Н. Н., Тюлин В. А. Создание и использование сеяных сенокосов и пастбищ: монография. М.: РГАУ–МСХА, 2019. 184 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_36845195_94485909.pdf
5. Голубев И. Г., Мишуков Н. П., Федоренко В. Ф., Апатенко А. С., Севрюгина Н. С. Инновационные технологии оценки состояния и вовлечения в оборот залежных земель: аналитический обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 80 с. Режим доступа: <https://rosinformagrotech.ru/data/anons/innovatsionnye-tehnologii-otsenki-sostoyaniya-i-vovlecheniya-v-oborot-zaleznykh-zemel-analit-obzor>
6. Зотов А. А., Косолапов В. М., Кобзин А. Г., Трофимов И. А., Уланов А. Н., Шевцов А. В., Шельменкина Х. Х., Щукин Н. Н. Сенокосы и пастбища на осушаемых землях Нечерноземья. Кокшетау: ИП «Изотова К. У.», 2012. 1198 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18823927&EDN:PVYALX>
7. Baker C. J., Saxton K. E., Ritchie W. R., Chamen W. C. T., Reicosky D. C., Ribeiro M. F. S., Justice S. E., Hobbs P. R. No-tillage seeding in conservation agriculture. 2nd ed. FAO and CAB International, 2007. 326 p.
URL: <http://www.fao.org/3/a-al298e.pdf>
8. Welty L. E., Hensleigh P. F., Stewart V. R. Methods for Sod-Seeding of Small-Seeded Legumes and Grasses. Montana State University is an Equal Opportunity. 15 p.
URL: <https://animalrangeextension.montana.edu/forage/documents/methods%20for%20sod-seeding%20of%20small-seeded%20legumes%20and%20grasses.pdf>
9. Соколов А. В., Замана С. П., Патлай В. В., Федоровский Т. Г., Киндсфатер В. Я. Совершенствование технологического процесса и технических средств для прямого подсева трав в дернину природных кормовых угодий. Кормопроизводство. 2012;(4):44-46. Режим доступа: <http://kormoproizvodstvo.ru/files/arhiv/4.12.pdf>
10. Рекомендации по улучшению лугов и пастбищ в Северо-Восточном регионе Европейской части России. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. 116 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003383003>

11. Полищук Ю. В., Лаптев Н. В., Комаров А. П. Комбинированные орудия для полосного подсева в технологии поверхностного улучшения старовозрастных многолетних трав. Научное обеспечение животноводства Сибири: мат-лы V Междунаро. научн.-практ. конф. Красноярск, 2021. С. 52-56.
12. Курбанов Р. Ф., Созонтов А. В. Эффективность технологии многокомпонентного полосного посева многолетних трав в дернину. Пермский аграрный вестник. 2017;(3 (19)):40-44.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30009673> EDN: ZGSGBX
13. Ревенко В. Ю., Белоусов М. М. Результаты испытаний машины для полосного подсева трав в дернину. Международная агроинженерия. 2014;(4 (12)):53-61.
Режим доступа: <http://www.spsae.kz/uploads/images/2014%204.pdf>
14. Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Способ полосного посева семян трав в дернину и сеялка для его осуществления: пат. №2641073 Российская Федерация. №2016108377: заявл. 09.03.2016, опубл. 15.01.2018, Бюл. №2. 11 с. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2641073C2/ru>
15. Демшин С. Л., Исупов А. Ю., Гайдидей С. В., Зырянов Д. А., Демшин К. С. Механизм подвески сошника. Пат. № 2772128 Российская Федерация. № заявки: 2021111764; заявл. 23.04.2021; опубл. 18.05.2022. Бюл. №14. 9 с. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2772128C1/ru>
16. Sysuev V. A., Kurbanov R. F., Demshin S. L., Saitov V. E., Doronin M. S. Parameters and operating modes of the coulter group of the sod seeder. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;723(2):022050. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022050>
17. Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Повышение качества полосного посева семян трав в дернину. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(5):63-68.
Режим доступа: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/163/163>
18. Гайдидей С. В., Дёмшин С. Л., Исупов А. Ю. Исследование динамики сошниковой группы сеялки полосного посева. Таврический вестник аграрной науки. 2022;(4 (32)):34-46.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49982561> EDN: MTRGVE
19. Андарьянов И. М. Подготовка семян козлятника к посеву. Агровестник. 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://agrovosti.net/lib/tech/fodder-production-tech/podgotovka-semyan-kozlyatnika-k-posevu.html> (дата обращения: 15.01.2024).
20. Пузырева М. Л. Технология возделывания козлятника восточного на корм и семена в подтаежной зоне Томской области: методические рекомендации. РАСХН. Сиб. отд. СибНИИСХиТ. Томск, 2006. 28 с.
Режим доступа: http://www.sibniit.tomsknet.ru/files/articles/technology_kozljatnik.pdf

References

1. Paptsov A. G., Altukhov A. I., Kashevarov N. I., Pershukovich P. M., Denisov A. S., Rudoy E. V., Petukhova M. S., Kapustyanichik S. Yu., Dobryanskaya S. L., Potseluev O. M., Sadokhina T. A., Petrov A. F., Ryumkin S. V., Galeev R. R., Polunin G. A., Taran V. V., Sokolova Zh. E. Forecast of scientific and technological development of the crop production industry, including seed production and organic farming in Russia, in the period up to 2030. *Novosib. gos. agrar. un-t, Sib. feder. tsentr agrobiotekhnologii RAN, FITs Institut tsitologii i genetiki SO RAN, FNTs VNIIESKh. Novosibirsk: izd-vo NGAU «Zolotoy kolos»*, 2019. 100 p. URL: <https://nsau.edu.ru/file/757891?get=a70a565f4138c62b15edaa38529cfac2>
2. Khukhta Kh., Minin V. B. Basic principles of organic agriculture. Saint-Petersburg: *ASPIRST; Mikkeli*, 2014. 40 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007979139>
3. Semen S. Organic Farming: A practical book for farmers. Minsk: *Agro-Eko-Kul'tura*, 2018. 138 p. URL: https://agracultura.org/wp-content/uploads/2019/08/organic_practice_book.pdf
4. Lazarev N. N., Tyulin V. A. Creation and use of seeded hayfields and pastures: monograph. Moscow: *RGAU-MSKhA*, 2019. 184 p. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_36845195_94485909.pdf
5. Golubev I. G., Mishurov N. P., Fedorenko V. F., Apatenko A. S., Sevryugina N. S. Innovative technologies for assessing the condition and involvement in the turnover of fallow lands: an analytical review. Moscow: *FGBNU «Rosinformagrotekh»*, 2022. 80 p. URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/anons/innovatsionnye-tehnologii-otsenki-sostoyaniya-i-vovlecheniya-v-oborot-zaleznykh-zemel-analit-obzor>
6. Zotov A. A., Kosolapov V. M., Kobzin A. G., Trofimov I. A., Ulanov A. N., Shevtsov A. V., Shel'menkina Kh. Kh., Shchukin N. N. Hayfields and pastures on drained lands of the Non-Chernozem region. Kokshetau: *IP «Izotova K. U.»*, 2012. 1198 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18823927&>
7. Baker C. J., Saxton K. E., Ritchie W. R., Chamen W. C. T., Reicosky D. C., Ribeiro M. F. S., Justice S. E., Hobbs P. R. No-tillage seeding in conservation agriculture. 2nd ed. FAO and CAB International, 2007. 326 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-al298e.pdf>
8. Welty L. E., Hensleigh P. F., Stewart V. R. Methods for Sod-Seeding of Small-Seeded Legumes and Grasses. Montana State University is an Equal Opportunity. 15 p. URL: <https://animalrangeextension.montana.edu/forage/documents/methods%20for%20sod-seeding%20of%20small-seeded%20legumes%20and%20grasses.pdf>
9. Sokolov A. V., Zamana S. P., Patlay V. V., Fedorovskiy T. G., Kindsfater V. Ya. Improving the technological process and means for direct grasses undersowing into grassland sod of natural fodder lands. *Kormoproizvodstvo = Forage Production*. 2012;(4):44-46. (In Russ.). URL: <http://kormoproizvodstvo.ru/files/arhiv/4.12.pdf>

10. Recommendations for improving meadows and pastures in the North-Eastern region of the European part of Russia. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh», 2007. 116 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003383003>
11. Polishchuk Yu. V., Laptev N. V., Komarov A. P. Combined implements for strip seeding in the technology of surface improvement of old-growth perennial grasses. Scientific support for animal husbandry in Siberia: materials of the V International. scientific-practical conf. Krasnoyarsk, 2021. pp. 52-56.
12. Kurbanov R. F., Sozontov A. V. An efficiency of a technology of multi-component strip sowing of perennial grasses in sod. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2017;(3 (19)):40-44. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30009673>
13. Revenko V. Yu., Belousov M. M. Results of tests of the car for band podsev of herbs in dermina. *Mezhdunarodnaya agroinzheneriya* = International Agro-engineering. 2014;(4 (12)):53-61. (In Kazakhstan). URL: <http://www.spsae.kz/uploads/images/2014%204.pdf>
14. Sysuev V. A., Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Doronin M. S. A method for strip sowing of grass seeds in turf and a seeder for its implementation: Patent RF, no. 2641073. 2018. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2641073C2/ru>
15. Demshin S. L., Isupov A. Yu., Gaydidey S. V., Zyryanov D. A., Demshin K. S. Opener suspension mechanism: Patent RF, no. 2772128, 2022. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2772128C1/ru>
16. Sysuev V. A., Kurbanov R. F., Demshin S. L., Saitov V. E., Doronin M. S. Parameters and operating modes of the coulter group of the sod seeder. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;723(2):022050. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022050>
17. Sysuev V. A., Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Doronin M. S. Improvement quality of strip sowing of grasses' seeds into a sod. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(5):63-67. (In Russ.). URL: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/163/163>
18. Gaydidey S. V., Demshin S. L., Isupov A. Yu. Analysis of the dynamics of the coulter group of the sod seeder for strip sowing. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2022;(4 (32)):34-46. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49982561>
19. Andar'yanov I. M. Preparation of Eastern galega seeds for sowing. *Agrovestnik*. 2018. URL: <https://agrovesti.net/lib/tech/fodder-production-tech/podgotovka-semyan-kozlyatnika-k-posevu.html> (accessed: 15.01.2024).
20. Puzyreva M. L. The technology of cultivation of Eastern galega for forage and seeds in the subtaiga zone of the Tomsk region: methodological recommendations. *RASKhN. Sib. otd. SibNIISKhiT*. Tomsk, 2006. 28 p. URL: http://www.sibniit.tomsknet.ru/files/articles/technology_kozljatnik.pdf

Сведения об авторах

Сысеев Василий Алексеевич, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1172-005X>

✉ **Демшин Сергей Леонидович**, доктор техн. наук, доцент, зав. лабораторией, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7965>, e-mail: sergdemshin@mail.ru

Гайдидей Сергей Владимирович, соискатель, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6112-5411>

Зырянов Дмитрий Алексеевич, кандидат техн. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Information about the authors

Vasily A. Sysuev, the academician of the RAS, academic advisor, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1172-005X>

✉ **Sergey L. Demshin**, DSc in Engineering, associate professor, Head of the Laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7965>, e-mail: sergdemshin@mail.ru

Sergey V. Gaididei, applicant, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6112-5411>

Dmitry A. Zyryanov, PhD in Engineering, researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Вычислительная нейросеть для обработки светотражательных спектров растений и дистанционного фитосанитарного мониторинга картофеля

© 2024. Н. И. Воробьев^{1,2}, А. К. Лысов¹✉, Т. В. Корнилов¹, А. В. Хютти¹

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», г. Санкт-Петербург-Пушкин, Российская Федерация,

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии», г. Санкт-Петербург-Пушкин, Российская Федерация

Статья посвящена изучению возможности использования искусственной нейронной сети WaveLetNN для анализа результатов дистанционного фитосанитарного мониторинга посадок картофеля с целью раннего обнаружения растений, пораженных фитофторозом. Рассмотрены различные методы анализа спектральных характеристик отражения растений, включая метод классификации. Для обнаружения инфицированных фитофторой растений нейронная сеть WaveLetNN анализирует полученные в результате исследований светотражательные характеристики растений картофеля (в диапазоне 300–1100 нм) и вычисляет индекс когнитивной значимости ($CSI = 0...10$), характеризующий интенсивность биохимических процессов внутри растений, направленных на противодействие фитопатогенной микрофлоре. При этом установлено, что существенное возрастание индекса CSI сигнализирует об инфицировании растений фитопатогенной микрофлорой и активизации защитных биохимических процессов со стороны растений. Для достоверной индикации зараженных растений нейронная сеть WaveLetNN прошла тестовое обучение на большом количестве светотражательных спектров незараженных растений и растений, искусственно зараженных фитофторозом. Спектральные характеристики отражения зараженных и незараженных растений снимались в течение 3, 4, 7 и 8 суток после заражения. Обработка полученных спектров с помощью нейронной сети WaveLetNN позволила выявить существенные различия между спектральными характеристиками второго и третьего порядка, у незараженных и зараженных фитофторозом растений на третьи сутки после заражения. Причем значения индекса CSI для зараженных растений равнялись 6,1...6,7, для здоровых – 1,9...2,5. Нейронная сеть WaveLetNN устраняет влияние на светотражательные спектры пространственного расположения листьев растений, неровностей поверхности почвы и затененности отдельных участков поля, нормируя спектры на суммарную интенсивность отраженного от листьев света. Таким образом, нейронная сеть WaveLetNN может применяться в качестве программного ядра online-систем дистанционного фитосанитарного мониторинга растений картофеля.

Ключевые слова: фитофтороз, искусственная нейронная сеть WaveLetNN, индекс когнитивной значимости светотражательных спектров растений

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки в рамках Государственного задания ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (тема № FGEU-2022-0008).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Воробьев Н. И., Лысов А. К., Корнилов Т. В., Хютти А. В. Вычислительная нейросеть для обработки светотражательных спектров растений и дистанционного фитосанитарного мониторинга картофеля. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):283–292. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.283-292>

Поступила: 22.08.2023

Принята к публикации: 20.03.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

Computational neural network for processing light-reflective spectra of plants and remote phytosanitary monitoring of potatoes

© 2024. Nikolay I. Vorobyov^{1,2}, Anatoly K. Lysov¹✉, Timur V. Kornilov¹, Alexander V. Hyutti¹

¹All-Russian Research Institute of Plant Protection, Saint-Petersburg, Russian Federation,

²All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint-Petersburg, Russian Federation

The article is devoted to studying the possibility of using the WaveLetNN artificial neural network to analyze the results of remote phytosanitary monitoring of early detection of plants in potato plantings affected by late blight. Various methods for analyzing the spectral characteristics of plant reflection are considered, including the classification method. To detect plants infected with late blight, the WaveLetNN neural network analyzes the light reflective characteristics of potato plants obtained as a result of research (in the range of 300–1100 nm) and calculates the cognitive significance index ($CSI = 0...10$), which characterizes the intensity of biochemical processes inside plants aimed at countering phytopathogenic microflora. It was found

that a significant increase in the CSI index signals infection of plants by phytopathogenic microflora and activation of protective biochemical processes on the part of plants. To reliably indicate infected plants, the WaveLetNN neural network underwent test training on a large number of light reflectance spectra of uninfected plants and plants artificially infected with late blight. The spectral reflectance characteristics of infected and uninfected plants were measured during 3, 4, 7 and 8 days after infection. Processing the obtained spectra using the WaveLetNN neural network made it possible to identify significant differences between the second- and third-order spectral characteristics of uninfected and late blight infected plants on the third day after infection. Moreover, for infected plants the CSI index values were 6.1...6.7, and CSI for healthy plants – 1.9...2.5. The WaveLetNN neural network eliminates the influence on the light reflectance spectra of the spatial arrangement of plant leaves, unevenness of the soil surface and shading of individual sections of the field, normalizing the spectra to the total intensity of light reflected from the leaves. Thus, the WaveLetNN neural network can be used as the software core of online systems for remote phytosanitary monitoring of potato plants.

Keywords: late blight, artificial neural network WaveLetNN, index of cognitive significance of light-reflective spectra of plants

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of All-Russian Research Institute of Plant Protection (theme No. FGEU-2022-0008). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Vorobyov N. I., Lysov A. K., Kornilov T. V., Hyutti A. V. Computational neural network for processing light-reflective spectra of plants and remote phytosanitary monitoring of potatoes. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):283–292. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.283-292>

Received: 28.08.2023

Accepted for publication: 20.03.2024

Published online: 24.04.2024

Существенным технологическим прорывом для повышения эффективности и оперативности проведения фитосанитарного мониторинга стало использование методов дистанционного зондирования поверхности Земли для получения информации об интересующих объектах на подстилающей поверхности сельскохозяйственных угодий на основе спутниковой и авиационной съемки с геокодированной привязкой снимаемых участков с помощью спутниковых систем глобального позиционирования GPS/ГЛОНАСС. В настоящее время дистанционные методы оценки состояния сельскохозяйственных угодий базируются на определении вегетационных индексов отражения в различных спектральных диапазонах, которые вычисляются по соответствующим формулам. Вместе с тем, накоплен значительный опыт и разработаны различные программы и методы попиксельной классификации исследуемых объектов, отличающихся алгоритмами вычисления, базирующихся на схожести пикселей снимка и пикселей эталонных образцов. Так, в методе минимального расстояния в качестве показателя близости пикселя к классу используется евклидова метрика. Для классификации спутниковых снимков подстилающей поверхности Земли широко применяется также попиксельный метод с использованием расстояния Мехалонобиса. Отличие заключается в том, что при равном евклидовом расстоянии до двух различных классов в методе с использованием расстояния Мехалонобиса пиксель будет отнесен к тому классу, у которого выше дисперсия.

Также для обработки снимков широко используется метод максимального правдоподобия, который базируется на том, что для каждого пикселя изображения в n -мерном пространстве определяется вероятность принадлежности ко всем заранее заданным классам. Наряду с указанными методами классификации, в настоящее время используется метод опорных векторов (Support Vector Machine), который учитывает не только яркостные характеристики анализируемого пикселя, но и информацию, полученную в результате анализа яркостных характеристик соседних пикселей. При использовании метода опорных векторов пиксели эталонных выборок классов разделяются n -мерными гиперплоскостями. Решение задач автоматической дешифрации, снимаемой информации с учетом неоднородности распространения вредных объектов на участках поля на основе метода классификации, должно базироваться на использовании нейронных сетей.

В связи с чем разработка интеллектуальных систем поддержки для дистанционного фитосанитарного мониторинга и защиты растений в первую очередь должна основываться на достоверности и оперативности получения информации о фитосанитарном состоянии сельскохозяйственных посевов.

Дистанционный фитосанитарный мониторинг растений в последнее время стали проводить беспилотными летательными аппаратами, оснащенными фотометрическими регистраторами ультрафиолетового, синего, зеленого, красного и ближнего ИК диапазонов [1].

Учитывая уникальность спектров поглощения различных веществ, регистрируемая информация потенциально позволяет определять не только тип наблюдаемых объектов, но и их состояние (например, содержание отдельных пигментов и влаги в растительном покрове). Это существенно увеличивает объём данных, и как следствие, сложность их передачи, хранения и обработки [2].

И, как следствие, для обработки большого массива данных (BigData) стали использоваться искусственные многослойные нейронные сети. В слоях нейронных сетей каждый нейрон преобразует входной сигнал в выходной и передает его остальным нейронам, в том числе и самому себе¹. Использование многослойных нейронных сетей для автоматизации процесса дешифрации информации, дистанционно снимаемой с участков поля, позволяет выявить по светоотражательным спектральным характеристикам больные растения и на ранних стадиях провести мероприятия по защите остальных растений.

Известны зарубежные работы по классификации здоровых и больных колосьев пшеницы быстрым и неразрушающим контролем для ранней диагностики фузариозного поражения зерновых и поражения картофеля фитотрофом с использованием нейронных сетей [3]. Имеются и другие примеры использования технологий компьютерного зрения для разработки модели дистанционного распознавания поражений культурных растений бактериологическими заболеваниями. В работе Н. А. Янишевской, И. П. Болодурина рассматривается возможность применения методов компьютерного зрения для задачи классификации поражений культурных растений на примере пшеницы. Предлагается использовать подход к распознаванию поражений болезнями культурных растений с использованием известных нейросетевых моделей ResNet50, DenseNet169, VGG16 и EfficientNet-B0 [4].

Нейросетевые инструментальные мониторинговые модели включают в себя большое количество вычислений и могут выполнять онлайн-обработку большого и непрерывного потока данных, поступающих с аграрных территорий. Для повышения эффективности мониторинговых систем разрабатываются датчики влажности почвы, газового состава воздуха,

электромагнитного излучения, ИК-спектров, а также нейронные сети могут учитывать генетику растений [5, 6]. В нейронной сети для мониторинга картофеля может быть включена модель классификации различных дефектов картофеля на основе метода наименьших квадратов опорных векторов (LS-SVM) по всему спектру признаков заболеваний [7].

Перспективным направлением в решении задачи по дешифрации светоотражательных спектров растений и диагностики заболевания фузариозом может быть создание вычислительной нейронной сети, анализирующей пять спектральных диапазонов, включая 766, 868, 696, 591 и 540 нм (перечислены по порядку). Программа такой нейронной сети может быть встроена в мультиспектральный датчик поражения колоса фузариозом, измеряющий отраженный световой сигнал от растений [8].

Полученные положительные результаты использования нейронных сетей важны для автоматической дешифрации гиперспектральных снимков определения информативных характеристик для диагностирования болезней основных сельскохозяйственных культур, в частности, картофеля (*Solanum tuberosum* L.), так как он является четвертой по важности продовольственной культурой в питании человека после кукурузы, пшеницы и риса [9].

Цель исследований – разработка алгоритма нейронной сети WaveLetNN и обучение ее на эмпирическом материале, полученном при искусственном инфицировании растений картофеля фитопатогенными бактериями.

Новизна исследований – впервые применяется вычислительная нейронная сеть для дистанционной диагностики заболевания растений; разработан алгоритм машинного обучения нейронной сети (НС) для определения информативных признаков здоровых и больных растений картофеля и автоматизации процесса обработки результатов дистанционного фитосанитарного мониторинга.

Материал и методы. Для достижения поставленной цели исследования был проведен опыт по определению спектральных характеристик отражения здоровых и искусственно зараженных растений картофеля фитотрофом в период с апреля по май 2020 года.

¹Сергеев А. П., Тарасов Д. А. Введение в нейросетевое моделирование: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. 128 с.

Методика исследования отражательных свойств здоровых и больных растений с использованием средств полевой спектрорадиометрии включает в себя следующие этапы:

- 1) выбор тестового поля;
- 2) оценка соотношений площадей произрастания здоровых и больных растений на территории выбранного поля;
- 3) проведение спектрорадиометром калибровочных измерений, необходимых для учёта и компенсации вариаций естественной освещённости;
- 4) проведение спектрорадиометрических измерений здоровых и больных растений на выбранном поле;
- 5) обработка и анализ результатов измерений, формирование выводов о наличии различных информативных признаков отражательных свойств здоровых и больных растений.

Следует отметить, что в естественных условиях в силу неодновременности смены фенологических фаз элементы растений имеют различное состояние и, как следствие, различные характеристики отражения.

Размер тестового участка поля должен не только превышать величину пространственного разрешения, которое предполагается использовать для дальнейших исследований, но и обеспечивать достоверное его распознавание. В свою очередь, при полевых работах целесообразно определить границу тестового участка поля и опорные точки на местности в общепринятых системах координат, например с применением средств глобальных навигационных спутниковых систем, что позволит эффективно использовать полученные пространственные данные в геоинформационных проектах.

Для определения интегральных характеристик отражения здоровых и больных растений в целом на естественном фоне произрастания требуется оценить соотношения площадей здоровых и больных растений и типа почвы. Это, наряду со сведениями о спектральных и пространственных параметрах оптико-электронной съёмки, обеспечивает оценку яркостных признаков заданных объектов применительно к конкретной аппаратуре и задачам исследований.

В рамках выполненной работы по исследованиям отражательных свойств здоровых и больных растений использовали полевой портативный спектрорадиометр PSR-1100. Данный прибор представляет собой оптико-электронное устройство для спектрорадиометрических

измерений в диапазоне длин волн электромагнитного излучения 320–1100 нм. Угловое поле зрения прибора составляет 4°.

Спектрорадиометр PSR-1100 оснащён многоэлементным приёмником излучения, сформированным из 512 элементов и, согласно документации, обеспечивает измерение со спектральным разрешением 3,2 нм. Каждое измерение сохраняется в памяти устройства в виде файла с расширением .sed, который используется в программном обеспечении (ПО) DARWin SP в качестве входных данных. Измеряемая устройством величина Radiance – спектральная плотность энергетической яркости (СПЭЯ); единица измерения – Вт/(см²·ср·нм).

Значение СПЭЯ, регистрируемое спектро-радиометром, зависит от положения солнца и метеорологических условий. Для обеспечения возможности непосредственного сравнения результатов полевых измерений требуется минимизировать вариации освещённости, которые обуславливаются динамикой солнца и фактором облачности. В силу этого проводили измерения в ясную погоду с минимально возможными промежутками по времени. В рамках работы анализ измерений PSR-1100 проводил при допущении о стационарности во времени условий освещённости в течение периода измерений. Кроме того, проведение отдельных измерений основывалось на принципе многократного измерения (не менее трёх) характеристики для одного объекта, имеющего целью исключить фактор ошибки оператора и уменьшить вероятность получения недостоверного результата. При этом спектрорадиометрические и калибровочные измерения проводили в идентичных условиях с выдерживанием расстояния от прибора до объекта и с ориентацией прибора в надирном направлении.

Необходимым опорным измерением являлась калибровочная характеристика, определяемая в результате измерения СПЭЯ, отражённого от белой калибровочной панели излучения. Белая калибровочная панель обладает свойствами идеально диффузно рассеивающей поверхности в рабочем диапазоне длин волн спектрорадиометра. Калибровочные измерения производили в начале каждого опыта со спектро-радиометром, а также в течение периода времени выполнения работ при изменении условий освещённости.

Обработка результатов измерений заключается в получении спектральных характе-

ристик отражения различных объектов в виде зависимостей СПЭЯ и коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) от длины волны. Для расчета КСЯ применяется формула:

$$p(\lambda) = \frac{B(\lambda)}{B_0(\lambda)},$$

где $B(\lambda)$ – СПЭЯ исследуемой поверхности в заданном направлении; $B_0(\lambda)$ – СПЭЯ идеально рассеивающей поверхности с единичным коэффициентом отражения и освещённой так же, как и исследуемая поверхность.

В качестве оценки величины $B_0(\lambda)$ используется калибровочная характеристика, полученная в результате измерения СПЭЯ калибровочной панели в условиях эксперимента.

Обработку полученных данных проводили с помощью специальной программы DARWin, но возможна обработка данных после некоторых математических преобразований, связанных с особенностями получаемых цифровых показателей, и с помощью программы Excel по формуле, представленной выше.

Измерения отражательной способности искусственно зараженных растений картофеля фитофторозом проводили на 3, 4, 7 и 8 сутки после заражения.

Для разработки и обучения НСГаусс были использованы экспериментальные данные по сорту картофеля Red Scarlet (рис. 1):

1. Спектр здоровых растений, 4 день наблюдений.
2. Спектр здоровых растений, 7 день наблюдений
3. Спектр зараженных фитофторой растений, 3 день наблюдений.
4. Спектр зараженных фитофторой растений, 4 день наблюдений.
5. Спектр зараженных фитофторой растений, 7 день наблюдений.
6. Спектр зараженных фитофторой растений, 8 день наблюдений.

В опыте были определены фотометрические спектры здоровых и зараженных фитофторой растений картофеля Red Scarlet (рис. 1), полученные в полевых условиях и в разные сроки от начала эксперимента с искусственным заражением растений фитофторой.

Следует отметить, что спектральные характеристики отражения растений картофеля, пораженных Y-вирусом или грибами рода *Alternaria*, отличаются от спектральных характеристик отражения растений картофеля, пораженных фитофторозом [10].

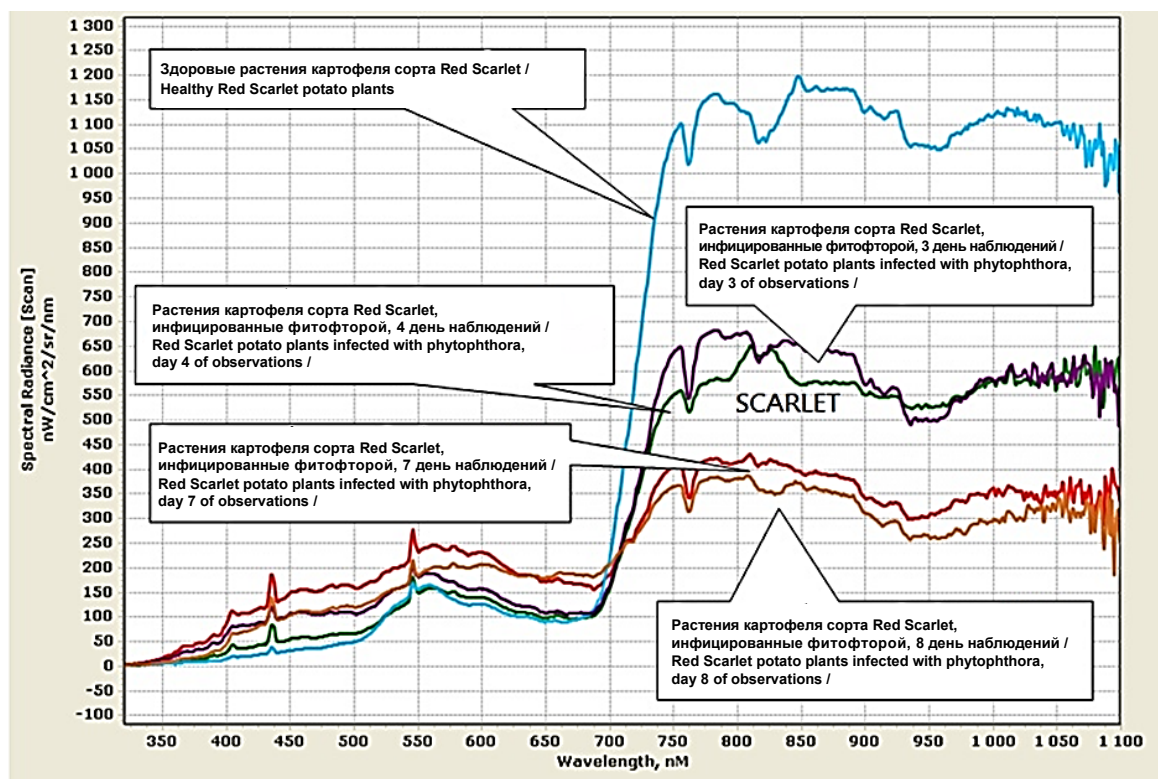


Рис. 1. Оптические отражательные спектры листовой поверхности здорового и пораженного фитофторой картофеля сорта Red Scarlet /

Fig. 1. Optical reflectance spectra of the leaf surface of healthy and phytophthora-affected potato varieties Red Scarlet

Для компьютерной обработки были измерены спектральные яркости света (рис. 1), отраженного от листовой поверхности (в диапазоне длин волн от 300 до 1100 нм), используя программное обеспечение DARWinSP.

Результаты и их обсуждение. Алгоритм вычисления нейронной сети WaveLetNN. Для анализа тонкой структуры светотражающих характеристик растений картофеля была разработана специальная нейросетевая программа WaveLetNN², блок-схема которой представлена на рисунке 2. Конечным продук-

том вычислений нейронной сети WaveLetNN является индекс когнитивной значимости светотражающего спектра (Cognitive Saliency Index, CSI = 0...10 [11]), характеризующий интенсивность биохимических процессов, происходящих внутри растений и противодействующих их фитопатогенному заражению. Индекс CSI является качественной характеристикой светотражающего спектра растений и, по нашему мнению, может использоваться в качестве косвенного индикатора степени зараженности растений фитофторой.

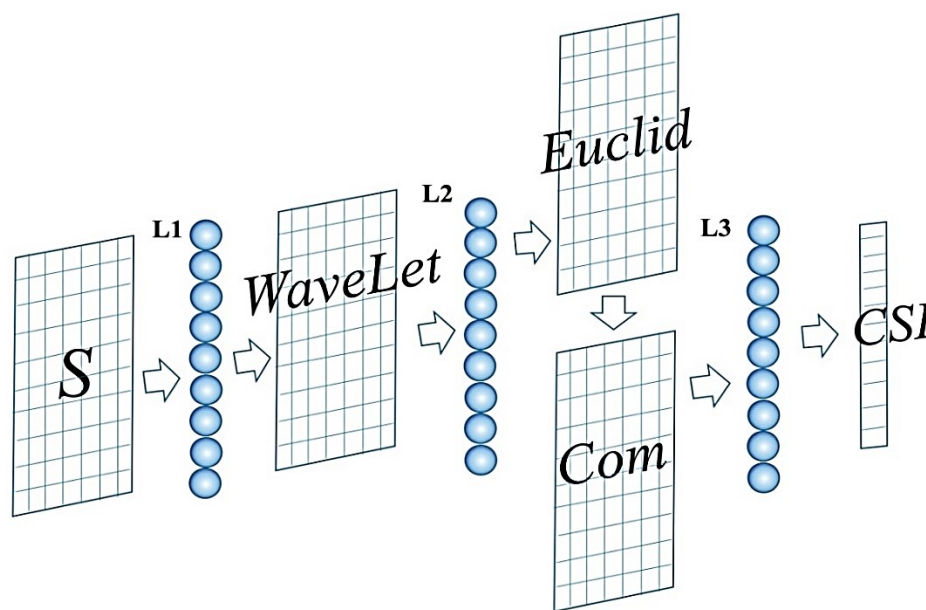


Рис. 2. Схема работы вычислительной нейронной сети WaveLetNN, анализирующей светотражающие спектры растений и вычисляющей индекс CSI (индекс когнитивной значимости цифровых данных светотражающих спектров): *S* – матрица, содержащая исходные данные (светотражающие спектры растений по вариантам опыта); *WaveLet* – матрица, содержащая *WaveLet*-преобразованные данные спектров; *Euclid* – матрица, содержащая статистические дистанции между спектрами в многомерном *Euclid*-пространстве; *Com* – матрица, содержащая направления ортогональных координат в многомерном пространстве спектров; *CSI* – вектор индексов когнитивной значимости светотражающих спектров; L1, L2, L3 – слои вычислительных нейронов, выполняющие матричные преобразования /

Fig. 2. Block diagram of the neural network program WaveLetNN, which analyzes the light-reflective spectra of plants and calculates the CSI index: *S* – is a matrix containing the initial data (light-reflective spectra of plants according to the experimental variants); *Wavelet*, *Euclid*, *Com* – matrices containing the results of intermediate calculations (details in the text); *CSI* – is the vector of indices of cognitive significance of reflective spectra; L1, L2, L3 – layers of computational neurons

Исходной информацией для вычислений, производимых нейронной сетью WaveLetNN (рис. 2), является матрица *S*, содержащая данные светотражающих спектров растений, представленные нормированными интенсивностями световых волн ($395 + 5 \cdot i$; $i = 1, 2, \dots, 141$ – порядковый номер длины волны в спектре):

$$\sum_{i=1}^{i=N} S_{ik} = 1, \quad (1)$$

где S_{ik} – интенсивности световой волны с порядковым номером (i) в фотометрическом спектре; k – порядковый номер светотражающего спектра в тестовом эксперименте с растениями картофеля; N – число световых волн в светотражающем спектре.

²Гольдштейн С. Л., Щербатский В. Б., Гущина О. В. Практический нейрокомпьютинг: учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 122 с.

1. Слой нейронов L1 выполняет *WaveLet*-преобразование спектральных данных матрицы *S* и нормализацию вычисленных данных с последующей записью результатов преобразования в матрицу *WaveLet*:

$$WaveLet_{jk} = SubProgram_WaveLet(S_{jk}), \quad (2)$$

где $\sum_{j=1}^{j=M} WaveLet_{jk} = 0$; $\sum_{j=1}^{j=M} WaveLet_{jk}^2 = 1$;

M – конечное число данных, меньшее числа *N*, которое образуется после *WaveLet*-преобразования исходных светоотражательных спектров; *N* – число световых волн в светоотражательном спектре; *j, k* – порядковые номера преобразованных данных и светоотражательных спектров в тестовом эксперименте с растениями картофеля.

2. Слой нейронов L2 вычисляет матрицу *Euclid* – матрицу Эвклидовых дистанций между светоотражательными спектрами в тестовом эксперименте с растениями картофеля:

$$Euclid_{mn} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^{j=M} (WaveLet_{jn} - WaveLet_{jm})^2}, \quad (3)$$

где *j* = 1, 2, ..., *M* – порядковый номер и число данных в строках матрицы *WaveLet*; *m, n* – поряд-

ковые номера светоотражательных спектров в тестовом эксперименте.

3. Слой нейронов L2 вычисляет матрицу *Com* (матрицу главных компонент, собственных векторов), используя матрицу *Euclid* и стандартную вычислительную процедуру [12]:

$$Com = EigenVectors(Euclid). \quad (4)$$

4. Слой нейронов L3 вычисляет 20 векторов нормализованных индексов CSI, полученных путем линейного и нелинейного преобразования первых трех компонент из матрицы *Com*.

5. В процессе обучения нейронной сети *WaveLetNN*³ был выбран вектор CSI, использующий вторую компоненту *Com*₂ матрицы *Com*. Этот выбор основывался на коррелированности (*r* = 0,991) вектора CSI с вектором {0,0,1,1,1,1}, отражающим отсутствие фитофтороза в 1 и 2 вариантах тестового эксперимента и присутствие фитофтороза в остальных вариантах:

$$CSI = Com_2 \cdot 5.04 + 5. \quad (5)$$

Значения индексов CSI, вычисленные нейронной сетью *WaveLetNN*, представлены на рисунке 3.

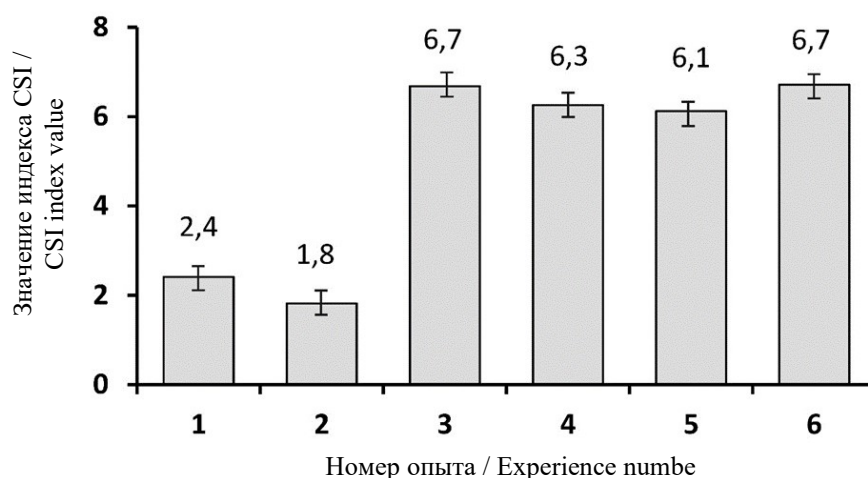


Рис. 3. Значения индексов CSI светоотражательных спектров здоровых (варианты опыта 1 и 2) и зараженных фитофторой (варианты опыта 3–6) растений картофеля Red Scarlet/

Fig. 3. The values of the CSI indices of the light-reflective spectra of healthy (experimental variants 1 and 2) and late blight-infected (experimental variants 3–6) Red Scarlet potato plants

Нейронная сеть *WaveLetNN* устраняет влияние на светоотражательные спектры пространственного расположения листьев растений, неровностей поверхности почвы и затененности отдельных участков поля, нормируя спектры на суммарную интенсивность отра-

женного от листьев света. Это достигается путем суммирования всех спектральных составляющих и последующее их деление на полученную сумму, что устраняет эффект от локальной неоднородности интенсивности отраженного потока света.

³Гольдштейн С. Л., Щербатский В. Б., Гущина О. В. Указ. соч.

Для разработки нейронной сети определены наиболее информативные поддиапазоны (от 700 до 1100 нм) светоотражательных спектров здоровых и больных растений картофеля Red Scarlet. В ближнем ИК-диапазоне (800-900 нм) находится максимум спектральной яркости здоровых растений картофеля и минимум растений, пораженных болезнями. Спектральная яркость больных растений в диапазоне длин волн от 750 до 1100 нм оказалась в 2,0–2,5 раза меньше, чем у здоровых уже на 3–8 сутки после заражения.

Индекс CSI = 6,1...6,7 светоотражательных спектров зараженных растений картофеля сорта Red Scarlet, начиная с четвертых суток после заражения, увеличивается в два раза, чем у спектров здоровых растений (CSI = 1,9; 2,5). Следовательно, при автоматической дешифрации дистанционных светоотражательных данных можно по значению индекса CSI определять размеры участков, на которых присутствуют заболевшие фитофторой растения.

Дистанционное сканирование растений на поле с помощью датчиков оптических спектров позволит обнаружить очаги заражения растений фитофторозом.

На программу для ЭВМ «Нейросетевая программа WaveLet анализа спектрально-отражательных характеристик растений» получено свидетельство о государственной регистрации [13].

Заключение. Метод исследования отражательных свойств здоровых и больных растений впервые позволил диагностировать дистанционно заражение конкретных растений картофеля фитофторозом уже на третьи сутки инфекционного процесса. Это позволяет принять своевременные меры как по устранению очага заражения, так и распространению инфекции на соседние растения.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования нейронной сети WaveLetNN для идентификации здоровых и больных фитофторозом растений картофеля на основе спектральных характеристик отражения растений.

На основе проведенных исследований разработан алгоритм нейронной сети WaveLetNN, который включает в себя процедуры следующих многомерных статистических

анализов: WaveLet-преобразование спектра – процедура, понижающая (сглаживающая) вариабельность данных спектров; вычисление статистической дистанции между светоотражательными спектрами исследованных растений – процедура многомерного статистического кластерного анализа; вычисление ортогональных координат (главных компонент) в многомерном пространстве светоотражательных спектров – процедура статистического дискриминантного анализа; при обучении и валидации нейронной сети WaveLetNN с целью вычисления индекса когнитивной значимости (CSI) спектров используется процедура статистического корреляционного анализа.

Изменения значения индексов CSI, вычисленных нейронной сетью WaveLetNN, показывают скачок/возрастание индекса CSI с 2 до 6 при переходе сканера со здорового растения на зараженное фитофторозом; неизменное значение CSI > 5 сигнализирует о переходе сканера с зараженного на зараженное растение; неизменное значение CSI < 4 сигнализирует о переходе сканера со здорового на здоровое растение. Таким образом, на поле можно определить локацию зараженных фитофторозом растений.

В результате использования экспериментальных данных по разнице светоотражательных спектров здоровых и больных растений картофеля сорта Red Scarlet, искусственно зараженных фитофторозом *Ph. Infestans*, проведено обучение по разработанному алгоритму нейронной сети WaveLetNN, позволяющее автоматизировать процесс выявления зараженных растений при проведении дистанционного фитосанитарного мониторинга с помощью беспилотного воздушного судна (БВС), оснащенного мультиспектральной камерой.

Задача создания автоматизированного комплекса требует совместной разработки не только вычислительных алгоритмов, но и аппаратуры регистрации светоотражательных спектров, дистанционного управления квадрокоптерами, передачи потока данных в центр обработки спектров. Создание такой системы мониторинга предполагается в дальнейших исследованиях. Для этого требуется привлечение специалистов по защите растений и конструкторов диагностической аппаратуры.

Список литературы

1. Павлюшин В. А., Лысов А. К. Фитосанитарная безопасность агроэкосистем и дистанционный фитосанитарный мониторинг в защите растений. Современные проблемы дистанционного зондирования поверхности Земли из космоса. 2019;16(3):69–78.
DOI: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-69-78> EDN: TLBKYYV
2. Борзов С. М., Потатуркин О. И. Выбор информативной системы признаков при классификации сельскохозяйственных культур по гиперспектральным данным. Автометрия. 2020;56(4):134–144.
DOI: <https://doi.org/10.15372/AUT20200414> EDN: DLRSCS
3. Jin X., Jie L., Wang Sh., Qi H. J., Li Sh. W. Classifying Wheat Hyperspectral Pixels of Healthy Heads and Fusarium Head Blight Disease Using a Deep Neural Network in the Wild Field. Remote Sensing. 2018;10(3):395.
DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10030395>
4. Янишевская Н. А., Болодурина И. П. Применение технологий компьютерного зрения для разработки модели распознавания поражений культурных растений. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2021;21(3):5–13.
DOI: <https://doi.org/10.14529/ctcr210301> EDN: LHLMBD
5. Militante S. V., Gerardo B. D., Medina R. P. Sugarcane Disease Recognition using Deep Learning. IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE), Yunlin, Taiwan, 2019. pp. 575–578.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ECICE47484.2019.8942690>
6. Gold K. M., Townsend P. A., Chlus A., Herrmann I., Couture J. J., Larson E. R., Devens A. J. Hyperspectral measurements enable pre-symptomatic detection and differentiation of contrasting physiological effects of late blight and early blight in potato. Remote Sensing. 2020;12(2):286. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12020286>
7. Zhang W., Zhu Q., Huang M., Guo Y., Qin J. Detection and Classification of Potato Defects Using Multi-spectral Imaging System Based on Single Shot Method. Food Analytical. Methods. 2019;12:2920–2929.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01654-w>
8. Moghimi A., Yang C., Anderson J. A., Reynolds S. K. Selecting informative spectral bands using machine learning techniques to detect Fusarium head blight in wheat. ASABE Annual International Meeting. 2019:1900815.
DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.201900815>
9. Novikova I., Titova Yu. A., Krasnobaeva I., Boikova I., Minin V., Zakharov A., Murzaev E. New polyfunctional biorationals use to achieve competitive yield of organic potatoes in the North-West Russian ecosystem. Plants. 2022;11(7):962. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11070962>
10. Lysov A. K., Kornilov T. V., Khyutti A. V. Spectral characteristics of reflection of waves in the optical range of healthy and diseased potato plants by y-virus and late blight. Research on crops. 2021;22(5):38–41.
DOI: <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.010>
11. Sutrop U. List task and a cognitive salience index. Field methods. 2001;13(3):263–276.
DOI: <https://doi.org/10.1177/1525822X0101300303>
12. Маркова Л. В., Корчевская Е. А. Численные методы нахождения собственных векторов и собственных значений матриц. Витебск: УО «ВГУ им. П. М. Машерова», 2011. 47 с.
13. Воровьев Н. И., Лысов А. К. Нейросетевая программа WaveLet анализа спектрально-отражательных характеристик растений: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023669473 Российская Федерация. №2023668120: заявл. 01.09.2023; опубл. 14.09.2023.

References

1. Pavlyushin V. A., Lysov A. K. Phytosanitary safety of agro-ecological systems and remote phytosanitary monitoring. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya poverkhnosti Zemli iz kosmosa* = Current problems in remote sensing of the Earth from space. 2019;16(3):69–78. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-69-78>
2. Borzov S. M., Potaturkin O. I. Selection of the informative feature system for crops classification using hyperspectral data. *Avtometriya*. 2020;56(4):134–144. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15372/AUT20200414>
3. Jin X., Jie L., Wang Sh., Qi H. J., Li Sh. W. Classifying Wheat Hyperspectral Pixels of Healthy Heads and Fusarium Head Blight Disease Using a Deep Neural Network in the Wild Field. Remote Sensing. 2018;10(3):395.
DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10030395>
4. Yanishevskaya N. A., Bolodurina I. P. Application of computer vision technologies for the development of a model for the recognition of lesions of cultivated plants. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika* = Bulletin of South Ural State University, Series «Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics». 2021;21(3):5–13. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.14529/ctcr210301>
5. Militante S. V., Gerardo B. D., Medina R. P. Sugarcane Disease Recognition using Deep Learning. IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE), Yunlin, Taiwan, 2019. pp. 575–578.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ECICE47484.2019.8942690>

6. Gold K. M., Townsend P. A., Chlus A., Herrmann I., Couture J. J., Larson E. R., Devens A. J. Hyperspectral measurements enable pre-symptomatic detection and differentiation of contrasting physiological effects of late blight and early blight in potato. *Remote Sensing*. 2020;12(2):286. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12020286>
7. Zhang W., Zhu Q., Huang M., Guo Y., Qin J. Detection and Classification of Potato Defects Using Multi-spectral Imaging System Based on Single Shot Method. *Food Analytical. Methods*. 2019;12:2920–2929. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01654-w>
8. Moghimi A., Yang C., Anderson J. A., Reynolds S. K. Selecting informative spectral bands using machine learning techniques to detect Fusarium head blight in wheat. *ASABE Annual International Meeting*. 2019:1900815. DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.201900815>
9. Novikova I., Titova Yu. A., Krasnobaeva I., Boikova I., Minin V., Zakharov A., Murzaev E. New polyfunctional biorationals use to achieve competitive yield of organic potatoes in the North-West Russian ecosystem. *Plants*. 2022;11(7):962. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11070962>
10. Lysov A. K., Kornilov T. V., Khyutti A. V. Spectral characteristics of reflection of waves in the optical range of healthy and diseased potato plants by y-virus and late blight. *Research on crops*. 2021;22(5):38–41. DOI: <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.010>
11. Sutrop U. List task and a cognitive salience index. *Field methods*. 2001;13(3):263–276. DOI: <https://doi.org/10.1177/1525822X0101300303>
12. Markova L. V., Korchevskaya E. A. Numerical methods for finding eigenvectors and eigenvalues of matrices. Vitebsk: *UO «VGU im. P. M. Masherova»*, 2011. 47 p.
13. Vorovyov N. I., Lysov A. K. WaveLet neural network program for analyzing spectral-reflective characteristics of plants: certificate of state registration of a computer program RF, no 2023669473, 2023.

Сведения об авторах

Воробьев Николай Иванович, кандидат техн. наук, ведущий специалист, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», ш. Подбельского, д. 3, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru; ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии», ш. Подбельского, д. 3, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196608, e-mail: arriam2008@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8300-2287>

✉ **Лысов Анатолий Константинович**, кандидат техн. наук, зав. лабораторией, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», ш. Подбельского, д. 3, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5920-3342>, e-mail: lysov4949@yandex.ru

Корнилов Тимур Викторович, ведущий специалист, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», ш. Подбельского, д. 3, г. Пушкин г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7299-6394>

Хютти Александр Валерьевич, кандидат биол. наук, зав. сектором, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», ш. Подбельского, д. 3, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1479-7746>

Information about the authors

Nikolay I. Vorobyov, PhD in Engineering, leading specialist, All-Russian Research Institute of Plant Protection, sh. Podbelskogo, 3, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru; All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, sh. Podbelskogo, 3, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196608, e-mail: arriam2008@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8300-2287>

✉ **Anatoly K. Lysov**, PhD in Engineering, leading researcher, Head of the Laboratory, All-Russian Research Institute of Plant Protection, sh. Podbelskogo, 3, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5920-3342>, e-mail: lysov4949@yandex.ru

Timur V. Kornilov, leading specialist, All-Russian Research Institute of Plant Protection, sh. Podbelskogo, 3, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7299-6394>

Alexander V. Hyutti, PhD in Biological Science, senior researcher, Head of the Sector, All-Russian Research Institute of Plant Protection, sh. Podbelskogo, 3, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1479-7746>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Определение оптимальных технологических параметров горизонтального смесителя рассыпных комбикормов

© 2024. П. А. Савиных, Н. В. Турубанов✉, А. Ю. Исупов

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская федерация

Качество комбикормов для животных и птицы напрямую зависит не только от входящих в него компонентов, но и от применяемого типа смесителя. Горизонтальные смесители в сравнении с вертикальными позволяют за более короткий период времени получать качественные смеси за счет интенсификации процесса движения материала ленточными рабочими органами. Цель исследований – определение оптимальных технологических параметров горизонтального смесителя с камерой смешивания 0,3 м³ с ленточным рабочим органом. Смеситель предназначен для получения комбикормов высокой однородности в технологических линиях, цехах или может использоваться как самостоятельная машина для смешивания рассыпных компонентов. Исследования выполнены путем проведения многофакторного эксперимента. В результате получены математические модели рабочего процесса смесителя, построены двумерные сечения поверхностей отклика. Полученные математические модели позволяют на стадии проектирования смесителей выявить зависимость качественных и энергетических показателей от факторов на рассматриваемых уровнях варьирования. По результатам проведенного многофакторного эксперимента установлено, что наилучшее качество смешивания 94,8 % достигается при загрузке камеры смешивания на 58 %, при частоте вращения вала смесителя 30 мин⁻¹, времени смешивания 6 минут при одновременной подаче контрольного и основного компонентов. При этом пропускная способность составляет 0,78 т/ч, а удельные энергозатраты – 2,04 кВт·ч/т.

Ключевые слова: смешивание, многофакторный эксперимент, ленточный шнек, опыты, производительность смесителя, кормление животных, линия приготовления кормов, качество смешивания

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0002).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Савиных П. А., Турубанов Н. В. Исупов А. Ю. Определение оптимальных технологических параметров горизонтального смесителя рассыпных комбикормов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):293–300. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.293-300>

Поступила: 11.12.2023

Принята к публикации: 21.03.2023

Опубликована онлайн: 24.04.2024

Determination of optimal technological parameters of a horizontal mixer of loose compound feeds

© 2024. Petr A. Savinyh, Nikolaj V. Turubanov✉, Aleksey Ju. Isupov

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The quality of the compound feeds for animals and poultry directly depends not only on the components included in it but also on the type of mixer used. Horizontal mixers as compared to the vertical ones allow for a shorter period of time to obtain high-quality mixtures due to the intensification of the process of material movement by belt working bodies. The aim of the research is to determine optimal technological parameters of a horizontal mixer with a 0.3 m³ mixing chamber with a belt working body. The mixer is designed to produce mixed compound feeds of high uniformity in production lines, workshops or can be used as an independent machine for mixing loose components. The research was carried through multifactorial experiment. As the result, mathematical models of the mixer working process were obtained, two-dimensional cross sections of the response surfaces were built. The obtained mathematical models make it possible at the design stage to identify the dependence of qualitative and energy indicators on factors at the considered levels of variation. According to the results of the multifactorial experiment, it has been established that the best mixing quality of 94.8 % is achieved when the mixing chamber is loaded by 58 % at a speed of rotation of the mixer shaft of 30 min⁻¹, mixing time of 6 minutes with simultaneous supply of the control and the main components. At the same time, the throughput is 0.78 t/h, and the specific energy consumption is 2.04 kWh/t.

Keywords: mixing, multifactorial experiment, belt auger, experiments, mixer performance, animal feeding, feed preparation line, mixing quality

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0002).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests.

For citations: Savinyh P. A., Turubanov N. V., Isupov A. Yu. Determination of optimal technological parameters of a horizontal mixer of loose compound feeds. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(2):293–300. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.293-300>

Received: 11.12.2023

Accepted for publication: 21.03.2024

Published online: 24.04.2024

На сегодняшний день ни одно сельскохозяйственное предприятие, которое ориентировано на высокоэффективное производство молока, мяса, яиц, не может обойтись без применения комбикормов в кормлении животных и птицы [1, 2]. На основе собственного сырья сельскохозяйственных предприятий можно получать качественные и недорогие по себестоимости комбикорма. Корма, приготовленные непосредственно в хозяйствах, позволяют повысить рентабельность и конкурентоспособность получаемой животноводческой продукции. Использование собственного фуражного зерна позволяет сокращать расходы на сырье, транспортировку и хранение [3]. Наиболее качественные смеси можно получить за счет использования в технологических линиях приготовления кормов горизонтальных смесителей [4]. Такого типа смесители имеют ряд преимуществ перед вертикальными – полная выгрузка готовой смеси, отсутствие зависания и слеживания материала в камере смешивания, при рабочем процессе движутся все частицы, а не только та часть, на которую воздействует шнек [5, 6]. Таким образом, исследование горизонтальных смесителей является актуальной задачей.

Цель исследования – определение оптимальных технологических параметров горизонтального смесителя рассыпных комбикормов.

Научная новизна – получение математических моделей рабочего процесса горизонтального смесителя, позволяющих определить зависимость основных показателей работы от технологических параметров смесителя.

Материал и методы. На производственной базе ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока изготовлен горизонтальный смеситель с рабочим объемом камеры смешивания 0,3 м³ (патент РФ № 2638978 [7]), разработанный в лаборатории механизации животноводства (рис. 1). Смеситель предназначен для получения комбикормов высокой однородности в технологических линиях, цехах, может использоваться как самостоятельная машина для смешивания рассыпных компонентов с удельной плотностью готового

продукта до 0,8 т/м³, применяться в сельскохозяйственных предприятиях, занимающихся разведением крупного рогатого скота молочного и мясного направления продуктивности, с численностью стада до 100 голов.



*Рис. 1. Общий вид смесителя /
Fig. 1. General view of the mixer*

Смеситель работает следующим образом. Компоненты подаются в камеру смешивания, где, подвергаясь воздействию ленточного шнека, перемешиваются. Благодаря конструкции ленточного шнека и расположения выгрузного окна по центру готовая смесь выгружается полностью, и смеситель готов для приготовления смеси по новому рецепту без использования дополнительного ручного труда на очистку [8].

На производственной базе ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока летом 2023 г. проведены экспериментальные исследования по определению зависимости основных показателей работы от технологических факторов. Смешивали два компонента: первый (основной) – измельченная смесь зерна (87,5 %) ячменя и ржи; второй (контрольный) – горох (12,5 %) [8]. Количество контрольного компонента выбрано согласно НТП-АПК 1.10.16.002-03¹. Загрузка основного компонента в смеситель осуществлялась шнековым транспортером. Количество поступившего материала в камеру смешивания взвешивали на весах, на которых находился

¹НТП-АПК 1.10.16.002-03. Нормы технологического проектирования сельскохозяйственных предприятий по производству комбикормов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200034655>

смеситель. Контрольный компонент подавался самотеком в смеситель из бункера, расположенного над смесителем. Количество второго компонента взвешивали на весах заранее, которое соответствовало требуемой величине для каждого эксперимента. Частота вращения вала комбинированного шнека смесителя при проведении экспериментальных исследований составляла 30 мин⁻¹.

Основные показатели рабочего процесса смешивания определяли по следующим формулам [8]. Мощность, затрачиваемую на привод шнека смесителя:

$$N_{ш} = N_{эл} \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{ц}, \quad (1)$$

где $N_{эл}$ – мощность, потребляемая электродвигателем, кВт; $\eta_{ред}$ – КПД редуктора; $\eta_{ц}$ – КПД цепной передачи.

Производительность смесителя Q (кг) за 1 час рассчитывали по формуле:

$$Q = \frac{60 \cdot G}{t}, \quad (2)$$

где G – количество смешиваемого материала, кг; t – время рабочего цикла смесителя, мин.

Время рабочего цикла смесителя определяли по выражению:

$$t = t_{заг} + t_{см} + t_{выг}, \quad (3)$$

где $t_{заг}$ – время загрузки компонентов, мин;

$t_{см}$ – время смешивания материала, мин;

$t_{выг}$ – время выгрузки готового материала, мин.

Качество смеси оценивают коэффициентом однородности:

$$v = 100 - \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \cdot 100, \quad (4)$$

где x_i – количество контрольного компонента в пробе; \bar{x} – среднее значение величины контрольного компонента $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$; n – число проб.

После завершения процесса смешивания при выгрузке готового продукта из смесителя производили отбор проб согласно ГОСТ Р ИСО 6497-2011², который осуществлялся из потока материала пробоотборником, представленным на рисунке 2, а. Каждая проба помещалась в отдельный контейнер. Для отделения контрольного компонента от основного использовали решето (рис. 2, б). После разделения смеси каждую фракцию взвешивали на весах, и по формуле (4) определяли коэффициент однородности v [9, 10].



а / а



б / б

Рис. 2. Общий вид: а – пробоотборник; б – оборудование для определения количества контрольного компонента в пробе /

Fig. 2. General view: а – the sampler; б – the equipment for determining the amount of the control component in the sample

Результаты и их обсуждение. Для определения оптимальных технологических параметров горизонтального смесителя рассыпных комбикормов после проведения однофакторных экспериментов выбраны значимые факторы, уровни их варьирования и состав-

лена матрица плана Бокса-Бенкена [11, 12]. В таблице представлены факторы и уровни их варьирования. В качестве критериев оптимизации приняты: y_1 – коэффициент однородности, %; y_2 – удельные энергозатраты, кВт·ч/т; y_3 – пропускная способность, т/ч.

²ГОСТ Р ИСО 6497-2011. Корма для животных. Отбор проб. М.: Стандартинформ, 2012. 19 с.
URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293790/4293790467.pdf>

Таблица – Уровни варьирования, наименование факторов и их условное обозначение /
Table – Levels of variation, names of factors and their symbols

Уровни варьирования факторов / Levels of variation of factors	Подача контрольного компонента / Supply of the control component	Заполнение смесителя по объему, % / Filling the mixer by volume, %	Время смешивания компонентов, мин / Mixing time of the components, min
	x_1	x_2	x_3
Верхний (+1) / Upper	После загрузки основного компонента / After loading the main component	75,0	10
Средний (0) / Middle	Одновременно с загрузкой основного компонента / Simultaneously with loading the main component	62,5	8
Нижний (-1) / Lower	В начале загрузки основного компонента / At the beginning of loading the main component	50,0	6

По результатам экспериментальных исследований получены математические модели качества смешивания (коэффициента однородности смеси) y_1 (5), удельных энерго-

затрат смесителя y_2 (6) и пропускной способности смесителя y_3 (7). Из уравнений (5), (6) и (7) незначимые факторы и их взаимодействия исключены [13].

$$y_1 = 94,73 - 0,76x_1 - 1,51x_2 - 1,14x_1^2 - 0,70x_1x_2 - 0,89x_1x_3 - 2,20x_2^2; \quad (5)$$

$$y_2 = 2,34 - 0,39x_2 + 0,39x_3 + 0,03x_1^2 + 0,07x_2^2 - 0,08x_2x_3 - 0,03x_3^2; \quad (6)$$

$$y_3 = 0,70 + 0,15x_2 - 0,12x_3 + 0,02x_2^2 - 0,03x_2x_3 + 0,02x_3^2. \quad (7)$$

Статистика R^2 -Squared показывает, что полученная математическая модель (5) на 93,92 % описывает изменение y_1 в зависимости от величины входящих в уравнение факторов. Математическая модель (6) на 99,79 % описывает изменение y_2 , модель (7) на 99,98% описывает изменение y_3 . Таким образом, можно сделать вывод, что все полученные уравнения регрессии достоверно описывают изменение коэффициента однородности смеси, удельных энергозатрат и пропускной способности в зависимости от изменения факторов [14, 15].

Анализ уравнений регрессии (5), (6) и (7) (на основании значимости коэффициентов) позволяет сделать вывод о том, что:

- в выбранном диапазоне варьирования факторов (табл.) наименьшее влияние на качество смешивания y_1 оказывает время смешивания компонентов x_3 , а на удельные энергозатраты y_2 и пропускную способность смесителя y_3 – подача контрольного компонента x_1 . В результате чего они были исключены и получены математические модели (5), (6) и (7);

- влияние факторов x_1 и x_2 не линейно и описывается параболической траекторией и наличием точки максимума. Так наилучшее качество смешивания, согласно рисунку 3, а, – 94,9 % получено при заполнении смесителя

по объему $x_2 = -0,36$ (58 %) и подаче контрольного компонента $x_1 = -0,37$. Однако принять фактор x_1 на этом уровне невозможно в виду ранжирования уровней варьирования фактора x_1 (табл.). Вследствие чего в дальнейшем его следует принять на ближайшем уровне, обеспечивающем наилучшее качество (рис. 3), т. е. $x_1 = 0$ (подача контрольного компонента одновременно с загрузкой основного);

- при изменении фактора x_2 от -1,0 до 1,0 (от 50 до 75 %) возрастает пропускная способность смесителя y_3 с 0,57 до 0,87 т/ч, уменьшаются удельные энергозатраты на смешивание y_2 с 2,8 до 2,0 кВт·ч/т по зависимостям, близким к линейным (рис. 3, б, в) при $x_1 = 0$ и $x_3 = 0$. Это объясняется тем, что увеличение объема смешивания также, как и увеличение времени смешивания требует роста затрачиваемой энергии на процесс. К тому же в рамках выбранного диапазона варьирования факторов x_2 и x_3 эффекты от их воздействия близки друг другу. Например, удельные энергозатраты на смешивание y_2 при изменении x_2 от -1,0 (50 %) до 1,0 (75 %) снижаются с 2,8 до 2,0 кВт·ч/т, а при изменении времени смешивания x_3 от -1,0 (6 мин) до 1,0 (10 мин) увеличиваются с 1,95 до 2,7 кВт·ч/т при $x_1 = 0$ (рис. 3, б).

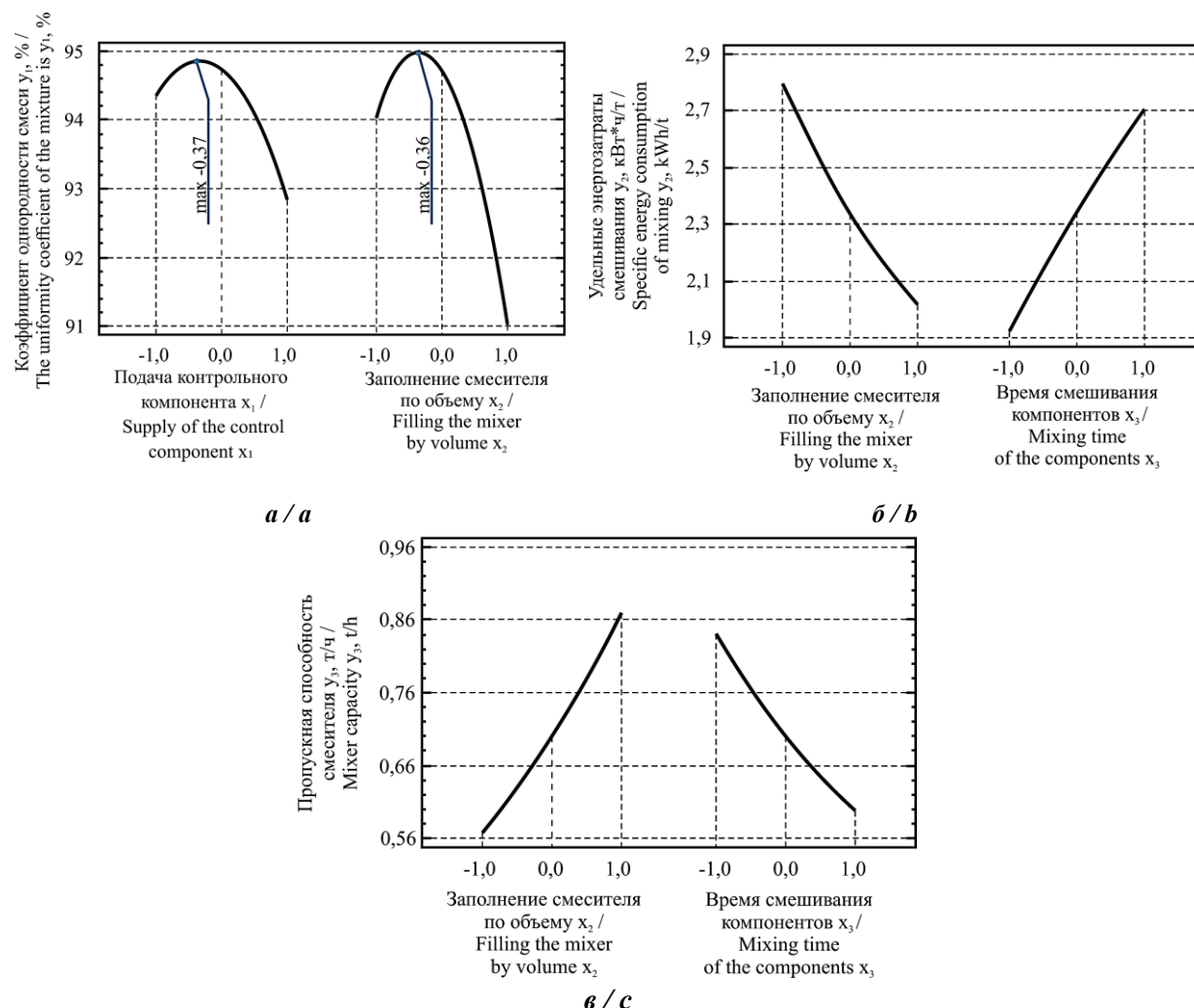


Рис. 3. График влияния изменения факторов на коэффициент однородности смеси (а), удельные энергозатраты (б) и пропускную способность смесителя (в) /

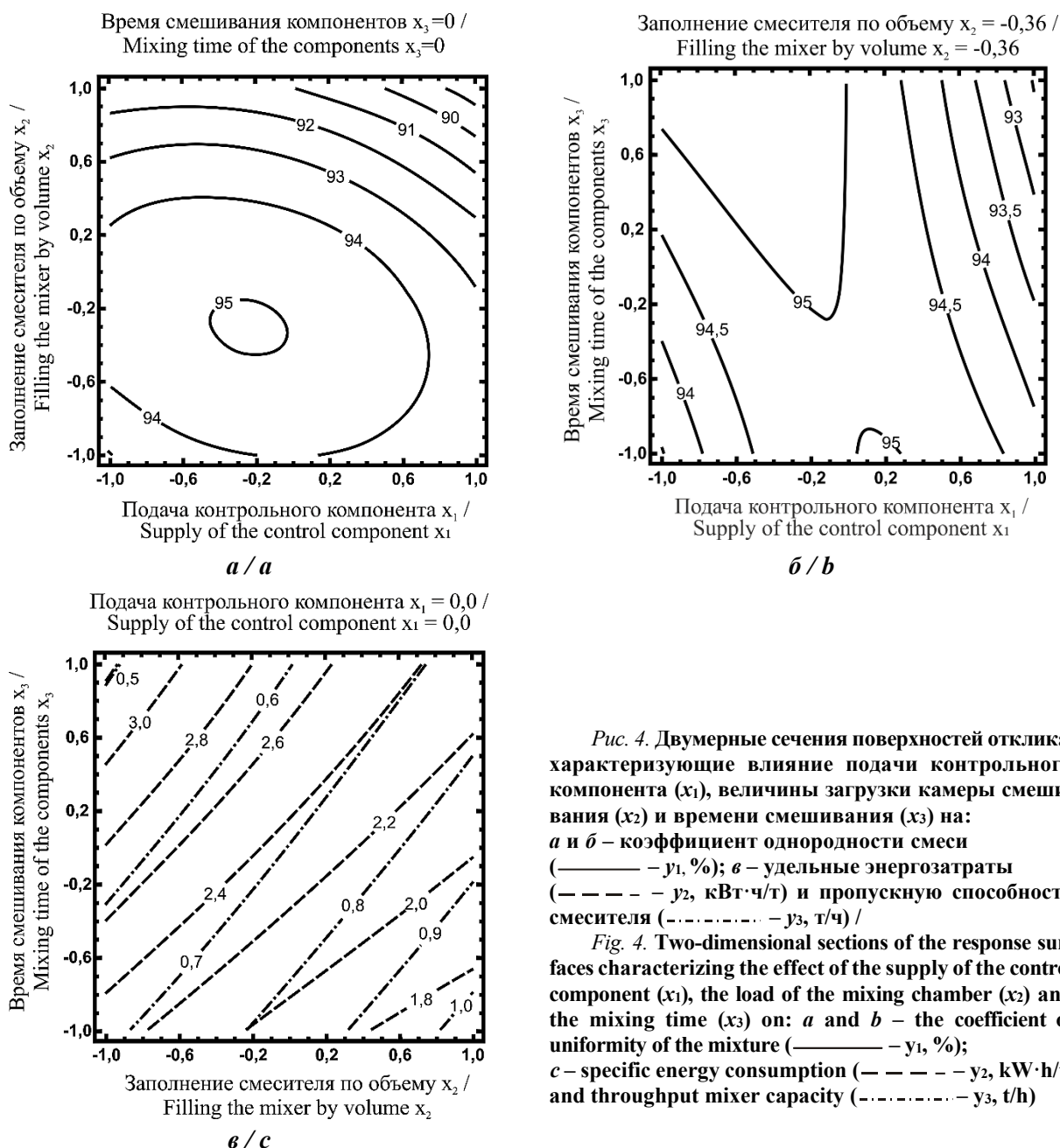
Fig. 3. Graph of the influence of changes in factors on the homogeneity coefficient of the mixture (a), specific energy consumption (b) and the throughput of the mixer (c)

По полученным уравнениям математических моделей (5), (6) и (7) построены двумерные сечения поверхностей отклика (рис. 4) [15, 16, 17], анализ которых показывает, что:

- наилучшее качество смешивания 95,04 % (рис. 4, а), наблюдается в точке $x_1 = -0,24$ и $x_2 = -0,31$ (58,6 %). Но ввиду затруднительности технической реализации фактора x_1 (строгое ранжирование фактора на трех уровнях) наилучшее качество смешивания следует принять равное $y_1 = 94,98$ % в точке $x_1 = 0,0$ (подача контрольного компонента одновременно с загрузкой основного) и $x_2 = -0,34$ (58,25 %);
- наилучшее качество смешивания y_1 (рис. 4, б) наблюдается в точке $x_1 = -0,61$ и $x_3 = 1,0$ (12 мин) и составляет 95,42 %. Однако по причине ранжирования фактора x_1 наибольший интерес представляет однородность смеси, получаемой при $x_1 = 0,0$, где качество

смешивания y_1 изменяется в пределах $94,72 \pm 0,25$ %. В то же время при $x_1 = 1,0$ (подача контрольного компонента после загрузки основного) качество смешивания y_1 уменьшается с 94,22 до 92,45 % одновременно с увеличением времени смешивания x_3 с 7 до 10 минут, а при $x_1 = -1,0$ наблюдается обратный процесс – качество смешивания y_1 возрастает с 93,47 до 95,24 % с увеличением времени смешивания x_3 с 6 до 7 минут;

- удельные энергозатраты y_2 (рис. 4, в) снижаются с 3,24 до 1,68 кВт·ч/т и повышается пропускная способность смесителя y_3 с 0,5 до 1,04 т/ч с увеличением заполнения смесителя по объему x_2 от -1,0 до 1,0 (с 50 до 75 %) и уменьшением времени смешивания x_3 с 1,0 до -1,0 (с 12 до 6 мин) при одновременной подаче контрольного и основного компонентов ($x_1 = 0$).



Заключение. Результаты экспериментальных исследований горизонтального смесителя с ленточным рабочим органом с камерой смешивания объемом 0,3 м³ позволили получить математические модели процесса смешивания компонентов в смесителе, по которым определены оптимальные показатели его работы. Наилучшее качество смешивания 94,8 % дости-

гается при загрузке камеры смешивания на 58,0 %, частоте вращения вала смесителя 30 мин⁻¹, длительности смешивания 6 минут при одновременной подаче контрольного и основного компонентов. Пропускная способность при этом составила 0,78 т/ч, удельные энергозатраты – 2,04 кВт·ч/т.

Список литературы

1. Овечкина Л. Ю., Бузоверов С. Ю., Лобанов В. И. Повышение эффективности процесса смешивания комбикормов путем модернизации рабочего органа смесителя. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021;(4-1(55)):75–78. DOI: <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2021-4-1-75-78> EDN: XLVJST
2. Садов В. В., Сорокин С. А. Интенсификация процесса смешивания комбикормов в вертикальном шнековом смесителе. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023;(4(222)):86–92. DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-222-4-86-92> EDN: FNOQLR

3. Проценко А. М., Денисенко Е. А. Совершенствование рабочих органов в горизонтальных смесителях. Образование. Наука. Производство: сб. докл. XV Международного молодежного форума. Белгород: Белгородский ГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. С. 104–109. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54965810> EDN: ROIJMQ
4. Кикин Н. О. Возможности повышения интенсификации процесса смешивания в смесителях с горизонтальным расположением валов. Машиностроение: инновационные аспекты развития: мат-лы междунаро. научн.-практ. конф. Санкт-Петербург, 2022. Т. 5. С. 13–17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48655249> EDN: ZAPSKX
5. Матюшев В. В., Бочкарев А. Н., Семенов А. В., Чаплыгина И. А. Исследование режимов работы центробежного смесителя сыпучих компонентов. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2021;(4(44)):206–214. DOI: https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_4_206 EDN: VVNZXB
6. Джингилбаев С. С., Силин В. А. Экспериментальное обоснование оптимальных значений угла наклона и частоты вращения шнеков горизонтально шнекового смесителя. Механика и технологии. 2022;(2(76)):66–72. DOI: <https://doi.org/10.55956/YKET2568> EDN: DVYIUQ
7. Савиных П. А., Алешкин А. В., Казаков В. А., Турубанов Н. В., Чернятьев Н. А., Зырянов Д. А., Саитов В. Е. Смеситель: пат. № 2638978 Российская Федерация. № 2016105025: заявл. 15.02.2016; опубл. 19.12.2017; Бюл. №35. 8 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38291111>
8. Савиных П. А., Турубанов Н. В. Исследование влияния конструктивно-технологических параметров горизонтального смесителя на показатели его рабочего процесса. Техника и технологии в животноводстве. 2022;(3(47)):42–47. DOI: <https://doi.org/10.51794/27132064-2022-3-42> EDN: PXIORB
9. Рыбалкин Н. А., Лебедев А. Т., Павлюк Р. В. Совершенствование процесса смешивания кормов в лопастном смесителе. Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020;(3(27)):78–84. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44085224> EDN: TMTCTM
10. Шахов В. А., Белов А. Г., Соловьёв С. А., Миркитанов В. И., Золотарёв С. В. Построение математической модели процесса смешивания компонентов комбикормов. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019;(4(78)):140–143. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41218422> EDN: RBEKYP
11. Савиных П. А., Турубанов Н. В. Влияние изменения технологических параметров смесителя комбикормов на показатели его работы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(5):732–739. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.732-739> EDN: POGVXS
12. Лозовой Н. М., Радинская Л. И., Лозовая С. Ю. Экспериментальные исследования зависимости коэффициента неоднородности смеси от технологических параметров в смесителе с изменяющейся рабочей камерой. Техника и технология транспорта. 2019;(S(13)):33. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40999989> EDN: WNDLRW
13. Игнатенков В. Г., Лаппо Е. Л., Быченков Д. М. Результаты экспериментальных исследований универсального смесителя-измельчителя для производства витаминно-кормовых добавок на основе сапропеля. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018;(6(164)):166–171. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35467503> EDN: XWXPTV
14. Солонщиков П. Н. Исследование непрерывного режима смешивания кормовых компонентов в смесительной установке. Тракторы и сельхозмашины. 2021;88(4):71–76. DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-4-71-76> EDN: BAXHCO
15. Савиных П. А., Турубанов Н. В., Мошонкин А. М. Определение оптимальных конструктивно-технологических параметров молотковой дробилки с решетками в торцевых поверхностях. Агроинженерия. 2023;25(5):17–22. DOI: <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-17-22> EDN: CZVEEL
16. Ханин С. И., Воронов В. П., Кикин Н. О., Мордовская О. С. Определение времени подготовки смеси в горизонтальном лопастном смесителе с установленными цилиндрическими стержневыми элементами. Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2022;(17-2):265–272. DOI: <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2022-17-265-272> EDN: GQWKSD
17. Мамедов Г. Б., Камран Т. Ф. Исследование производительности экспериментального кормосмесителя. Аграрная наука. 2021;(2):90–93. DOI: <https://doi.org/10.32634/10.32634/0869-8155-2021-345-2-90-93> EDN: BDIMRX

References

1. Ovechkina L. Yu., Buzoverov S. Yu., Lobanov V. I. Improving the efficiency of the feed mixing process by upgrading the mixer working body. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* = International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2021;(4-1(55)):75–78. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2021-4-1-75-78>
2. Sadov V. V., Sorokin S. A. Intensification of compound feed mixing process in a vertical screw mixer. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2023;(4(222)):86–92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-222-4-86-92>
3. Protsenko A. M., Denisenko E. A. Improvement of working bodies in horizontal mixers. Education. Science. Production: sat. dokl. XV International Youth Forum. Belgorod: *Belgorodskiy GTU im. V. G. Shukhova*, 2023. pp. 104–109. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54965810>
4. Kikin N. O. Possibilities to increase the intensification of the mixing process in mixers with horizontal shafts. Mechanical engineering: innovative aspects of development: international issues. scientific-practical conf. Saint-Petersburg, 2022. Vol. 5. pp. 13–17. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48655249>
5. Matyushev V. V., Bochkarev A. N., Semenov A. V., Chaplygina I. A. Investigation of the operating modes of a centrifugal mixer of bulk components. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2021;(4(44)):206–214. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_4_206

6. Dzhangilbayev S. S., Silin V. A. Experimental substantiation of the optimal values of the angle of inclination and rotation frequency of the screws of a horizontal screw mixer. *Mekhanika i tekhnologii* = Mechanics & Technologies. 2022;(2(76)):66–72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.55956/YKET2568>
7. Savinykh P. A., Aleshkin A. V., Kazakov V. A., Turubanov N. V., Chernyat'ev N. A., Zyryanov D. A., Saitov V. E. Mixer. Patent RF No. 2638978 2017. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38291111>
8. Savinykh P. A., Turubanov N. V. Research of horizontal mixer's design-and-technological parameters influence on its workflow indicators. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* = Machinery and technologies in livestock. 2022;(3(47)):42–47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51794/27132064-2022-3-42>
9. Rybalkin N. A., Lebedev A. T., Pavlyuk R. V. Improvement of the process of mixing fodder in a valve mixer. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy* = Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives. 2020;(3(27)):78–84. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44085224>
10. Shakhov V. A., Belov A. G., Soloviev S. A., Mirkitanov V. I., Zolotarev S. V. Construction of mathematical model of the process of mixing compound feed components. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2019;(4(78)):140–143. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41218422>
11. Savinykh P. A., Turubanov N. V. The influence of changes in the technological parameters of the feed mixer on its performance. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(5):732–739. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.732-739>
12. Lozovoy N. M., Radinskaya L. I., Lozovaya S. Yu. Experimental studies of the dependence of the inhomogeneity coefficient of the mixture on the technological parameters in a mixer with a changing working chamber. *Tekhnika i tekhnologiya transporta* = Technique and Technology of Transport. 2019;(S(13)):33. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40999989>
13. Ignatenkov V. G., Lappo E. L., Bychenkov D. M. The results of experimental tests of multifunctional crushing mixer for production of spropel-based vitamin feed supplement. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2018;(6(164)):166–171. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35467503>
14. Solonshchikov P. N. Study of the continuous mode of mixing feed components in a mixing plant. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021;88(4):71–76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-4-71-76>
15. Savinykh P. A., Turubanov N. V., Moshonkin A. M. Determination of optimal design and technological parameters of a hammer crusher with sieves in end surfaces. *Agroinzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2023;25(5):17–22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-17-22>
16. Khanin S. I., Voronov V. P., Kikin N. O., Mordovskaya O. S. Determining the mixture preparation time in a horizontal paddle mixer with installed cylindrical rod elements. *Transportnoe, gornoe i stroitel'noe mashinostroyeniye: nauka i proizvodstvo* = Transport, mining and construction engineering: science and production. 2022;(17-2):265–272. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2022-17-265-272>
17. Mammadov G. B., Kamran T. F. Experimental feed mixer performance study. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2021;(2):90–93. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/10.32634/0869-8155-2021-345-2-90-93>

Сведения об авторах

Савиных Петр Алексеевич, доктор техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией механизации животноводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0524-9721>

✉ **Турубанов Николай Валентинович**, кандидат техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1446-6851>, e-mail: nikolaytu@mail.ru

Исупов Алексей Юрьевич, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3399-5089>

Information about the authors

Petr A. Savinykh, DSc in Engineering, professor, chief researcher, Head of the Laboratory of Animal Husbandry Mechanization, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0524-9721>

✉ **Nikolaj V. Turubanov**, PhD in Engineering, associate professor, senior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1446-6851>, e-mail: nikolaytu@mail.ru

Aleksej Ju. Isupov, PhD in Engineering, senior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3399-5089>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.301-310>



УДК 631.171:631.22

Развитие механизации молочного скотоводства в России и Советском Союзе в первой половине XX века

© 2024. В. Ф. Вторый , С. В. Вторый

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Цель работы – анализ состояния и тенденции развития технико-технологического обеспечения молочного скотоводства России и Советского Союза в первой половине XX века. В начале XX века сельское хозяйство России на две трети состояло из мелких крестьянских хозяйств с использованием ручного труда и не требовало дорогих машин. Процесс укрупнения хозяйств шел очень медленно, но были созданы предпосылки для перехода к механизированному производству продукции животноводства. Первая мировая война, начавшаяся в 1914 году, а затем революция и Гражданская война остановили на годы техническое развитие сельскохозяйственного производства России. Во второй половине 20-х годов XX века уже перед Советским Союзом встала проблема роста производства сельхозпродукции, что можно было обеспечить организацией высокомеханизированных сельскохозяйственных предприятий. Всесоюзное объединение сельскохозяйственного строительства «Союзсельстрой» к 1931 году подготовило типовые проекты молочных ферм крупного рогатого скота на 100 и 200 голов, в которых была предусмотрена механизация основных процессов по содержанию и обслуживанию коров. Созданием машин для животноводства в 1930-1940 годах занимались ученые и инженеры Всесоюзного института механизации (ВИМ) и его филиалов. В этот период был разработан и поставлен на производство целый ряд машин, облегчающих труд животноводов. Началось составление нормативов для проектирования коровников. К 1939 году в ВИМ была создана и прошла проверку в колхозах система машин. Появилась потребность в специальных организациях для оказания помощи колхозам при монтаже и вводе в эксплуатацию животноводческого оборудования. Одновременно началась подготовка инженерных кадров в Ленинграде, Москве и других городах Советского Союза. Постановлением Совета Народных Комиссаров СССР от 8 июля 1939 года был установлен план поставки на 1940 год ряда машин и агрегатов для животноводства. Таким образом, к 1941 году были созданы необходимые условия для комплексной механизации основных трудоемких процессов в животноводстве Советского Союза. Вопросы сельскохозяйственной экологии в этот период на государственном уровне не рассматривались. При отсутствии широкого производства минеральных удобрений, весь навоз, получаемый от животных, вносился под сельскохозяйственные культуры, являясь ценным органическим удобрением, не представляющим угрозы окружающей среде.

Ключевые слова: сельское хозяйство, корова, ферма, скотный двор, комплексная механизация, машина, оборудование

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (работа FGUN-2022-0010).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Вторый В. Ф., Вторый С. В. Развитие механизации молочного скотоводства в России и Советском Союзе в первой половине XX века. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):301–310.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.301-310>

Поступила: 15.03.2024

Принята к публикации: 12.04.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

Development of mechanization of dairy cattle rearing in Russia and the Soviet Union in the first half of the twentieth century

© 2024. Valery F. Vtoryi , Sergei V. Vtoryi

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

The study aimed to look into how dairy cattle rearing in Russia and the USSR got technical and technological support in the first half of the twentieth century. At the start of the 20th century, two-thirds of Russian agriculture were small peasant farms. They used manual labor and did not need the costly machines. The consolidation of farms was very slow. Yet it laid the foundation for a shift to mechanized livestock production. The First World War, which began in 1914, followed by the Revolu-

tion and the Civil War halted for years the technical development of Russia's agricultural production. In late 20s, the Soviet Union already faced the challenge of producing more agricultural goods. This increase could be possible by starting highly mechanized agricultural enterprises. By 1931, "Soyuzselstroy", an All-Union Agricultural Construction Association, had prepared standard designs of dairy cattle farms for 100 and 200 heads. They provided for mechanization of main processes of cow housing and care. In 1930-1940, scientists and engineers of the All-Union Institute of Mechanization (VIM) and its branches undertook the creation of cattle farming machinery. This period saw the development and manufacture of a number of machines that made livestock farmers labor easier. The work on setting standards for designing the cow barns started. By 1939, VIM had designed a system of machines and test edit in collective farms. The need for specialized organizations to help collective farms to install and put into operation the livestock equipment became evident. At the same time, training of agricultural engineers started in Leningrad, Moscow and other USSR cities. A Decree by the Council of People's Commissars of the Soviet Union dated July 8, 1939, set a delivery plan of machines and units for livestock farming in 1940. Thus, by 1941 the conditions were created for integrated mechanization of main labor-intensive processes in national animal husbandry. Those days agricultural ecology was not in the focus. With no widespread production of mineral fertilizers in place, application of all manure to soil posed no environmental risk.

Keywords: agriculture, cow, dairy farm, barnyard, integrated mechanization, machine, equipment

Acknowledgements: the research was carried out within the state assignment of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (research FGUN-2022-0010).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citation: Vtoryi V. F., Vtoryi S. V. Development of mechanization of dairy cattle rearing in Russia and the Soviet Union in the first half of the twentieth century. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):301–310. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.301-310>

Received: 15.03.2024

Accepted for publication: 12.04.2024

Published online: 24.04.2024

В конце XIX века Российская империя была аграрной державой, где сельское население составляло более половины всего населения страны. Сельскохозяйственное производство и особенно производство молока было малоэффективно из-за малой продуктивности животных, низкой производительности труда, связанной с отсутствием средств механизации основных технологических процессов.

В Российской Империи в 1900 году насчитывалось 180 млн голов скота, в т. ч. 27 % – крупный рогатый скот (КРС). Так, в 50 губерниях Европейской России было 31 млн 659 тыс. голов. У крестьян взрослый скот составлял 61 %, молодняк – 39 %, у крупных землевладельцев – 70 и 30 % соответственно. Следует отметить, что КРС был важным источником навоза, необходимым для повышения плодородия бедных почв, особенно в Нечерноземной полосе России [1].

В лучших стадах средняя удойность великорусской коровы при живой массе около 400 кг достигала 150–200 ведер (1800–2400 л) на голову в год и жирности молока 3,7 %. Высокопродуктивный скот имелся в хозяйствах на территориях, расположенных по течению Северной Двины, Вычегды, Костромы, Волги, Оки, Клязьмы. Высоким спросом пользовался Холмогорский скот, выведенный путем скрещивания местного скота с голландским еще во времена Петра I.

Сложившаяся к началу XX века структура мелкотоварного крестьянского животноводческого хозяйства, базировавшегося на 1-2 коровах, не требовала наличия высокопроизводительных, дорогих машин, что сдерживало развитие механизации молочного животноводства. В то же время процесс индустриализации России продолжал развиваться. Состав выпускаемых машин и орудий для сельского хозяйства становился более разнообразным с хорошим качеством и невысокой ценой. Важным моментом было то, что снижалась доля зарубежных материалов и расширялся ассортимент металлов и изделий отечественного производства. Известный инженер-механик того времени Д. Д. Арцыбашев отмечал, что русское машиностроение пользуется почти исключительно отечественными материалами [2].

С развитием зоотехнических знаний в начале XX века к крестьянам приходит осознание необходимости подготовки кормов перед скармливанием скоту. Однако зоотехники того периода рекомендуют обдуманно подходить к различным приемам подготовки кормов, так как можно нанести вред животным [3]. Для облегчения трудоемкого процесса приготовления кормов появилась потребность в производстве доступного оборудования для улучшения качества кормов путем термообработки, измельчения соломы, корнеплодов, зерновых продуктов. В первую очередь, были востребованы запарники кормов емкостью от 3 до 25 пудов

картофеля, соломорезки, корнерезки, зерноплющилки и зернодробилки с ручным приводом. Оборудование поставлялось, в основном, с заводов Англии, Германии, Австрии, но было и российское, изготовленное в Харькове и Риге.

В 1819 году появился первый доильный аппарат, а в 1895 году компания Thistle разработала высокопроизводительный доильный аппарат с пульсатором (рис. 1), принцип работы которого используется и в настоящее время¹. Большой объем производства молока в крестьянских хозяйствах требовал замены ручного доения машинным. Однако в начале XX века в России процесс перехода с ручного доения на машинное только начинался. Установки для доения коров проходили стадию разработки и



Рис. 1. Доильный аппарат (1895)² /
Fig. 1. Milking unit (1895)²

Одновременно растет спрос на оборудование для длительного хранения молока и молочных продуктов: холодильники с циркулирующей холодной водой для охлаждения цельного молока, сливок и снятого молока после сепарирования производительностью от 6 до 60 ведер (70–720 л) в час; подогреватели; пастеризаторы для нагрева молока до 85 °С. В российских мастерских было организовано производство весов для взвешивания молока,

совершенствования, практически отсутствовали у крестьянства. В то же время у населения появился запрос на расширение ассортимента молочных продуктов, который повлек за собой разработку и широкое внедрение оборудования для переработки молока. Наибольший спрос получили сепараторы, которые оснащались преимущественно ручным приводом, но были и работающие от конного или парового привода. Наиболее совершенными и востребованными были сепараторы системы Де-Лаваль (рис. 2) – ручные, с производительностью 3,5–24,0 ведра (40–290 л) в час. Сепараторы поставлялись исключительно из-за границы, главным образом из Швеции и Дании, от 4000 до 5000 штук в год.



Рис. 2. Сепаратор De Laval³ /
Fig. 2. De Laval separator³

молокомеров, приборов для пропаривания и мытья молочной посуды.

Наличие в г. Санкт-Петербурге Императорского Сельскохозяйственного Музея (образован в 1861 г. и работал до 1941 г.) с отделом «Сельскохозяйственные орудия и машины» и подотделом «Машины и приборы молочного хозяйства» (рис. 3) позволяло знакомить крестьянство с достижениями мирового и российского сельхозмашиностроения, одновременно обучая селян пользованию ими [4].

¹Milking Machine. Haude Life. Inventions that change the world. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://haudelife.wordpress.com/2016/12/16/milking-machine/> (дата обращения: 05.01.2024).

²Там же

³Там же.

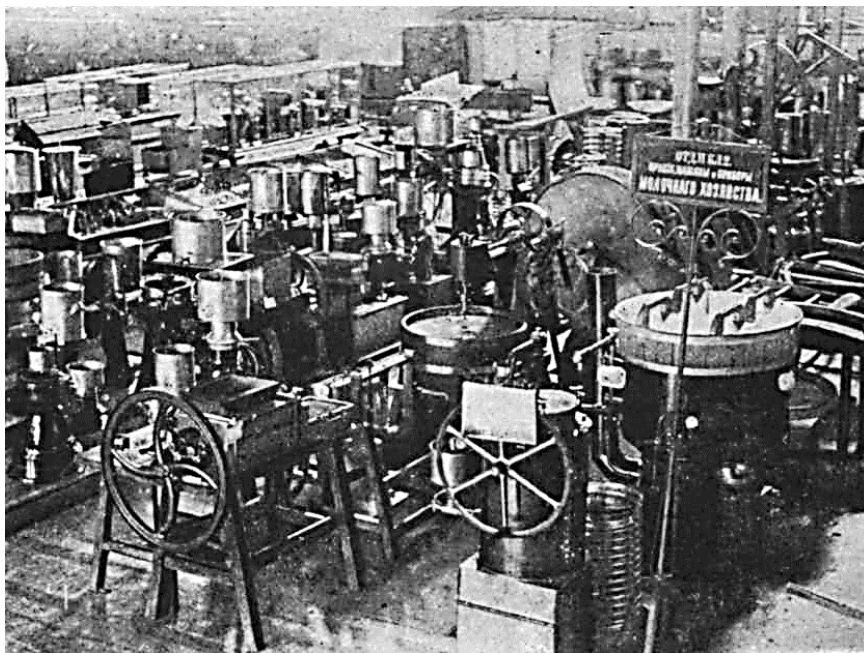


Рис. 3. Отдел приборов молочного хозяйства Императорского Сельскохозяйственного Музея [4] /
Fig. 3. Department of devices for milk production in the Imperial Agricultural Museum [4]

К началу XX века были в основном созданы предпосылки для перехода к механизированному производству продукции животноводства, но не существовало социально-экономических условий. Мелкие крестьянские хозяйства, составлявшие около 2/3, не имели возможности для покупки техники и оборудования. Процесс укрупнения шел очень медленно с разорением мелких крестьянских хозяйств и присоединением освободившихся земель к более крупным землепользователям.

Цель исследования – анализ состояния и тенденции развития технико-технологического обеспечения молочного скотоводства России и Советского Союза в первой половине XX века.

Научная новизна – на основе анализа исторической и научно-технической информации рассмотрены тенденции становления и развития технико-технологического обеспечения молочного скотоводства России в первой половине XX века.

Материал и методы. Для оценки состояния производства животноводческой продукции, обеспечения техникой и механизированными технологиями на фермах КРС колхозов, совхозов использованы методы монографического исследования, статистического и экономического анализа материалов государственной статистики и научных публикаций с обобщением и систематизацией собранной информации.

Результаты и их обсуждение. В истории развития Российской государственности первой

половины XX века можно выделить два основных этапа. Первый этап – Российская Империя, существовавшая до 1917 года. Второй этап с 1917 года – создание Союза Советских Социалистических Республик (СССР), Великая Отечественная война и послевоенное восстановление народного хозяйства.

В первые годы XX века обозначилась необходимость научного подхода к разработке и производству машин и оборудования для сельского хозяйства. Создание в 1907 году Бюро по сельскохозяйственной механике – научно-исследовательской организации, которая занималась вопросами теоретической и прикладной механики, разработкой новых научных принципов в сельскохозяйственном машиностроении, явилось основой для разработки и создания в России технических средств механизации сельскохозяйственного производства, в т. ч. для молочного животноводства [5]. Бюро просуществовало до 1917 года, которое к 1925 году было преобразовано в отдел машиноведения Государственного института опытной агрономии (ГИОА). В процессе реорганизаций на базе отдела ГИОА и других институтов в 1930 году в Ленинграде был создан Всесоюзный институт механизации (ВИМ). В институте сформировали ряд отделов, в т. ч. механизации работ на фермах. Затем ВИМ был переведен в Москву, а в Ленинграде создали Ленинградское отделение ВИМ (в настоящее время – Институт агроинженерных и экологических

проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в Санкт-Петербурге).

В 1913 году в сельском хозяйстве России было занято свыше 75 % населения, насчитывалось 20 млн крестьянских хозяйств (дворов), из которых 30 % не имели рабочего скота, 34 % – пахотного инвентаря, 15 % – посевов. Бедняцкие хозяйства составляли 65 % общего количества, середняцкие – 20 %, кулацкие – 15 %. Товарную продукцию производили в основном середняцкие и кулацкие хозяйства. Практически большинство крестьянских хозяйств могли прокормить только себя [6].

Разразившаяся в 1914 году Первая мировая война, а затем Октябрьская революция 1917 года и Гражданская война, последовавшая за этим разруха отбросили Россию в техническом развитии сельскохозяйственного производства назад на многие годы. 30 декабря 1922 года был образован Союз Советских Социалистических Республик (СССР).

Необходимо отметить, что в критических условиях Гражданской войны ученые продолжали работать. Так, в 1918 году при молочной ферме Петроградского Агрономического Института в Детском (Царском) Селе специально созданной экспертной комиссией проведены испытания сепараторов, закупленных за границей. Первое место заняла группа сепараторов «Альфа-Нобель». Результаты испытаний послужили основанием для выбора конструкций сепараторов для намечающегося открытия в России заводов по их производству [7]. Уже в 1923 г. на базе машиностроительного завода в г. Пермь был организован завод «Уралсепаратор», в дальнейшем «Машзавод им. Ф. Э. Дзержинского», где начали выпускать сепараторы «Звезда» производительностью 60 и 100 л в час.

Во второй половине 20-х годов XX века был взят курс на индустриализацию СССР, что привлекло в города из деревни наиболее активную часть сельского населения. В то же время малые крестьянские хозяйства не обеспечивали необходимый объем производства продовольствия. Это требовало срочных изменений и, в первую очередь, за счет роста производительности труда, внедрения машинных технологий, что эффективно на крупных сельскохозяйственных предприятиях. Руководством страны было принято решение о коллективизации крестьянства [8].

На 1-ом Всесоюзном съезде Союза рабочих животноводческих совхозов СССР, состоявшемся 5–8 мая 1931 года, было заявлено, что при развертывании социалистического животноводства наряду с организационно-техническими задачами встает проблема механизации. В 1930–1931 гг. в опытном совхозе им. Фрунзе (близ Иваново-Вознесенска, ныне Иваново) была создана первая ферма КРС с комплексной механизацией производственных процессов.

Основным условием механизации процессов в животноводстве являлось обеспечение электроэнергией, основой которого стала реализация плана электрификации России – ГОЭЛРО. К 1940 году в животноводстве и птицеводстве России расходовалось 60,5 млн кВт·ч, или 13,5 % электроэнергии, потребляемой в сельском хозяйстве [9].

В 1930 году скотные дворы на 25–50 голов уже не удовлетворяли развивающееся животноводство. Всесоюзное объединение сельскохозяйственного строительства «Союзсельстрой» на 1931 год разработало типовые проекты ферм КРС на 100 и 200 голов, которые были одобрены Всесоюзным комитетом по стандартизации [10].

В проекте на 100 голов скот располагается по двухрядной системе, на 200 голов – в два или четыре ряда. Одноэтажное здание для скота на 200 голов со стойлами в 4 ряда длиной 62 м и шириной 17,5 м, внутренней высотой 2,65 м имеет 2 стойловых помещения с коридором шириной 4,28 м, каждое из которых оборудовано четырьмя рядами стойл, разделенных пятью продольными проходами. В каждом ряду 25 стойл при длине 1,50–1,65 м и ширине 1,10–1,20 м. Стойла оборудованы автопривязью Калмыкова. Кормушки высотой 60 см и шириной 50 см имеют округлую форму и изготавливаются из цемента. В торцевой стене расположены ворота и двери. Коровник оборудован подвесными однорельсовыми дорогами и электрокарами. Имеется молочная, куда доставляется молоко в бидонах или по трубам. Молоко после фильтрации пастеризуется (или стерилизуется) и охлаждается. Рекомендуются использовать автоматические поилки. Ввиду того, что в СССР не было массового производства доильных установок, то использовались чаще всего доильные системы зарубежных фирм «Альфа Лаваль», «Миеле» и других. В проектах предусматриваются как

На рубеже 20–30-х годов XX века аналогичные проекты предлагались и другими разработчиками. В работе [11] рекомендуется механизировать усадьбу, схема которой представлена на рисунке 4, план-разрез коровника – рисунке 5. Усадьба имеет два скотных двора на 200 голов каждый, кормовые помещения, силосы, маслодельню, навозохранилища, трубы пневматического транспорта, узкоколейку, монорельс. Рельсовые пути обеспечивают полное механизированное обслуживание всех помещений и навозохранилищ. Механизация на скотных дворах сосредоточивается на транспортировке всех видов грузов и доении. Для поения крупного рогатого скота использовались автоматические поилки. Необходимые привязи животных, устройства стойл, кормушек, денников, вентиляции, ворот, дверей и калиток, в т. ч. и запасные части машин и оборудования должны отпускаться со складов Всесоюзного акционерного общества по снабжению сельского хозяйства средствами производства «Сельхозснабжение».

Типовое проектирование ферм требовало разработки строительных норм и правил. Разработаны нормативы для генеральных планов, выбора материалов для построек с учетом коэффициентов теплопередачи материалов и выделения тепла животными. По правилам предписывалось, что объем помещений для содержания коров должен составлять 18–20 м³ на животное, с температурой в стойлах 7–10 °С,

воздухообмен не менее одного раза в час. Содержание коров 2-рядное при поголовье до 100 голов, от 100 до 200 голов – 4-рядное. Размеры стойла – 1,5x1,1 ÷ 1,6x1,2 м соответственно [12].

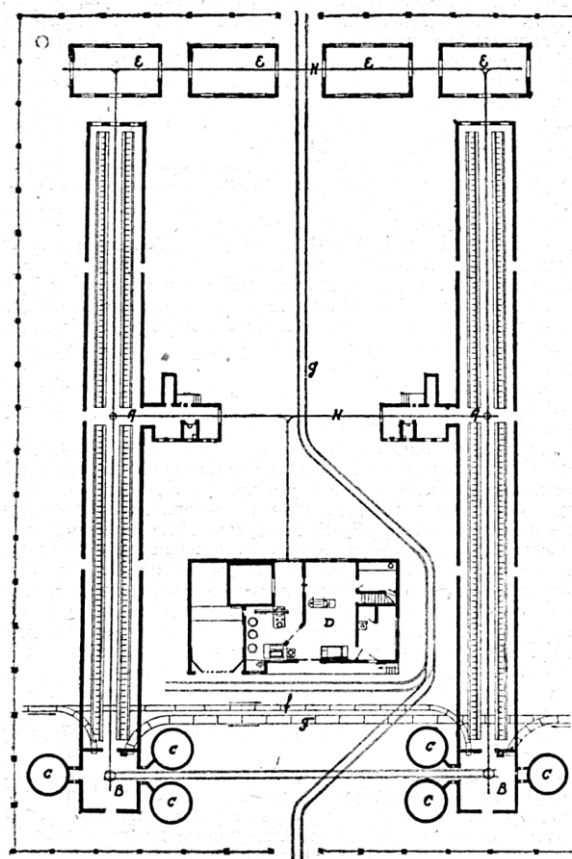


Рис. 4. Схема усадьбы [11] /
Fig. 4. Layout of the estate [11]

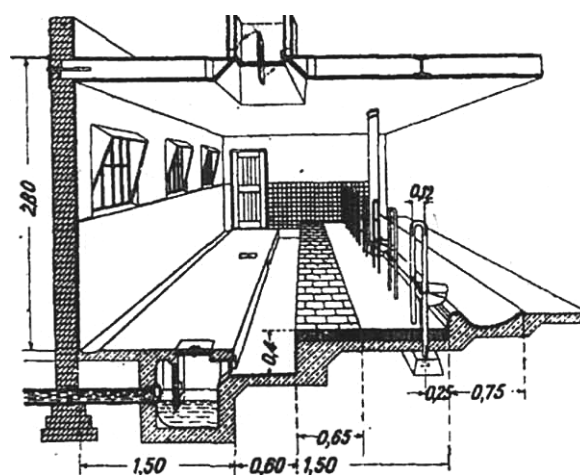


Рис. 5. План-разрез коровника [11] /
Fig. 5. Sectional plan of a cow barn [11]

Необходимость перехода на новое машинно-технологическое обеспечение животноводства была закреплена в Постановлении СНК СССР от 8 июля 1939 г., где указывалось, что к 1939 году в СССР количество колхозных животноводческих ферм составит более 400 тыс., поголовье крупного рогатого скота на фермах увеличится с 1933 по 1938 год на 79 % и составит 12,9 млн гол. При этом значительная часть колхозов не имела животноводческих помещений или имела меньше 10 коров на ферме. Постановлением определено, что колхозная ферма КРС при земельной площади от 200 га должна иметь минимум поголовья – не менее 10 коров, 3000 га и более – от 80 до 100 коров. Указано на необходимость усиления работы по механизации трудоемких процессов в животноводстве. Утвержден план поставки колхозам и совхозам промышленностью России в 1940 году следующего оборудования: соло-

морезок 15000 шт., корнерезок 10000 шт., зернодробилок 2000 шт., кормозапарников 8000 шт., доильных машин 600 шт. и другого оборудования и материалов⁴.

Разработкой машин для животноводства в период 1930–1940 годов занимались Всесоюзный институт механизации сельского хозяйства (ВИМ) с филиалами, Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), который в 1937 году объединили с ВИМ. В этот период был разработан и поставлен на производство целый ряд машин и механизмов, облегчающих труд животноводов. Группа инженеров под общим руководством Н. М. Ароновича провела исследования и разработала первую отечественную трехтактную доильную машину ДА-3 (рис. 6). До начала Великой Отечественной войны на Сумском заводе было выпущено около 1000 доильных установок на 100 коров каждая [13].

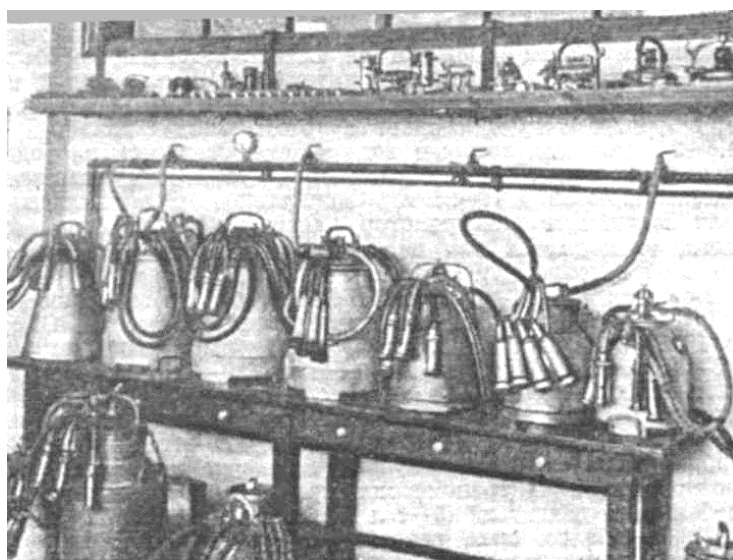


Рис. 6. Стенд для испытания доильных машин, первая справа – трехтактная доильная машина ВИМ [13]

Fig. 6. Milking machine test bench, first on the right is a three-stroke milking machine designed by VIM [13]

Уровень механизации молочных ферм оставался низким, что вызвало необходимость разработки системы машин для механизации трудоемких процессов в животноводстве. К 1939 году в ВИМ такая система машин в основном была создана и прошла проверку в колхозах [14]. Она была утверждена Секцией животноводства и механизации ВАСХНИЛ, а производство машин распределено Государ-

ственным плановым комитетом Совета Министров СССР (Госпланом) по отдельным заводам.

Опыт передовых колхозов и совхозов показал, что при всех существующих недостатках, эффективность механизации основных трудоемких процессов высока. Так, по словам старшего зоотехника колхоза им. Ленина, введение автопоения увеличило ежедневный удой от каждой коровы на 1-2 л, облегчило труд доярок и снизило заболеваемость скота [15].

⁴Совет Народных Комиссаров, Центральный Комитет ВКП(б) Постановление от 8 июля 1939 года «О мероприятиях по развитию общественного животноводства в колхозах». [Электронный ресурс].

URL: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/402767-postanovlenie-soveta-narodnyh-komissarov-soyuza-ssr-i-tsentralnogo-komiteta-vkp-b-o-meropriyatiyah-po-razvitiyu-obschestvennogo-zhivotnovodstva-v-kolhozah-8-iyulya-1939-g> (дата обращения: 14.02.2024).

Внедрение комплексной механизации технологических процессов поставило задачу подготовки инженерных кадров для сельскохозяйственного производства, в т. ч. для животноводства. С учетом разнообразия природно-климатических условий СССР стали открываться институты механизации и электрификации сельского хозяйства. Первые ВУЗы агроинженерного профиля были созданы в 1930 г. в Ленинграде (Ленинградский институт механизации сельского хозяйства) и Москве (Московский институт механизации сельского хозяйства), а затем в течение нескольких лет были открыты Азово-Черноморский, Челябинский, Воронежский институты механизации сельского хозяйства. На территории Украинской ССР созданы институты механизации сельского хозяйства в Харькове и Мелитополе, в Средней Азии – Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства. Всего было организовано 9 агроинженерных ВУЗов. Одновременно открывались факультеты механизации при сельскохозяйственных институтах [16].

Примерами реализации комплексной механизации в скотных дворах 30-х годов XX века могут служить совхоз «Гигант» Московского областного союза потребительских обществ (МОСПО) № 1, который находился в 16 км от Можайска, и коровник совхоза «Средняя рогатка» в Ленинградской области [10]. Скотные дворы механизированы, установлены автопоилки с водопроводом. Коровы привязаны автоматическими хомутами, дойка коров производится доильными аппаратами «Альфа Лаваль». Пол, жижекостки, навозные проходы моются водой из шлангов. На скотных дворах – электрическое освещение, вентиляция. Приготовление кормов осуществляется на кормообрабатывающих машинах (корне-резки, жмыхо-дробилки, соломорезки и пр.), которые приводятся в движение от центральной электрической станции. В молочной молоко пастеризуется, охлаждается и вывозится на молочный завод.

В молочном скотоводстве основным источником экологической опасности являются продукты жизнедеятельности животных, а именно фекалии и моча в смеси с подстилкой, представляющие собой навоз. Опасность для окружающей среды от навоза возрастает с увеличением концентрации поголовья коров, что определяется размером фермы. К 1939 году XX века в колхозах средний размер фермы

крупного рогатого скота составлял около 33 голов и накапливаемый относительно небольшой объем навоза не представлял экологической угрозы для окружающей среды. Технология утилизации этого объема навоза заключалась в том, что в стойловый период он накапливался на специальной площадке рядом с фермой и в весенний период его вывозили и вносили на поля ручным способом или с использованием навозоразбрасывателя Очерского завода [17]. При небольшом объеме производства минеральных удобрений, массовое производство которых было организовано только в 1940 году [18], навоз являлся основным удобрением, особенно для бедных почв Нечерноземной зоны СССР. Поэтому его практически полностью использовали в растениеводстве при минимальном ущербе окружающей среде и производстве экологически безопасных продуктов питания. В связи с невысоким уровнем развития животноводства и низкой концентрацией скота на сельскохозяйственных угодьях, специальных технологий для переработки и утилизации навоза еще не применяли.

Сразу после окончания Великой Отечественной войны в 1946 г. было организовано Министерство сельскохозяйственного машиностроения, имевшее в своем составе Главное управление машин для животноводства (ГУМЖ). Под руководством этого управления с непосредственным участием ВИМ и ВИСХОМ заводом «Гомсельмаш» был начат выпуск машин для механизации трудоемких процессов в животноводстве – это силосорезка РКС-12,0, кормозапарник ЗК-0,5 и молотковые дробилки ДММ-0,3 и ДМК-0,1, измельчитель кормов ИК-3, доильный агрегат ДА-3, автопоилка ПА-2, охладители молока ХП-100 и ХП-200, водонапорная башня Рожновского и некоторые другие [13]. Активизации работ по механизации ферм способствовало принятие в 1949 г. трехлетнего плана развития общественного животноводства.

Заключение. На начало XX века сельскохозяйственное производство России было на 2/3 представлено мелкими крестьянскими хозяйствами с ручным трудом и не требовало сложных машин. Развитие промышленности создало предпосылки для отечественного производства машин и оборудования для механизации животноводства. Смена политического строя и образование в 1922 году СССР, индустриализация и коллективизация поставили задачу значительного увеличения производства продовольствия, что было возможно

только путем механизации процессов в растениеводстве и животноводстве. Мелкотоварное животноводство не удовлетворяло создавшимся условиям, что требовало организации крупных, механизированных ферм. Разрабатываются типовые проекты ферм КРС на 100 и 200 голов с механизацией основных технологических процессов, нормативы для проектирования коровников и система машин для механизации трудоемких процессов в животноводстве. Учеными и инженерами ВИМ разработан и поставлен на производство целый ряд машин и механизмов, облегчающих труд животноводов, в т. ч. первая в СССР трехтактная доильная машина ДА-3. Созданы специальные

организации для оказания помощи колхозам при монтаже и вводе в эксплуатацию животноводческого оборудования, открылись ВТУЗы агроинженерного профиля в Ленинграде, Москве, других городах и республиках СССР. Рядом постановлений Правительства СССР был определен план производства и поставки машин для животноводства. Таким образом, к 1941 году в СССР создаются необходимые условия для комплексной механизации основных трудоемких процессов в животноводстве. После окончания Великой Отечественной войны к 1950 году в стране восстанавливается производство машин и принят трехлетний план развития общественного животноводства.

Список литературы

1. Паращук С. Скотоводство в России. Полная энциклопедия русского сельского хозяйства и соприкасающихся с ним наук. Общ. ред. А. Ф. Рудзкий. Издание А. Ф. Девриена. СПб.: Типография Императорской Академии наук, 1903. Т. VIII. С. 1106–1135.
2. Арцыбашев Д. Д. Сельскохозяйственное машиностроение в России. Полная энциклопедия русского сельского хозяйства и соприкасающихся с ним наук. Общ. ред. А. Ф. Рудзкий. Издание А. Ф. Девриена. СПб.: Типография Императорской Академии наук, 1903. Т. VIII. С. 960–981.
3. Арцыбашев Д. Д. Сельскохозяйственные машины и орудия: пособие при выборе за сельскохозяйственными машинами и орудиями. Библиотека хозяина №25. СПб., 1902. Вып. 2. 650 с.
4. Строганов В. И. Отдел машин Императорского Сельскохозяйственного Музея. М. – СПб.: Типография М. П. Фроловой, 1909. С. 239–313.
5. Эрк Ф. Н. Из истории становления сельскохозяйственной механики России. СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2004. 100 с.
6. Флорентьев Е. А. Сельское хозяйство. Вологодская областная универсальная научная библиотека. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/106/986.htm> (дата обращения: 27.02.2024).
7. Барановский А. А. Об испытании сепараторов при Петроградском агрономическом институте в Детском (Царском) Селе в октябре 1918 г. Известия Отдела машиноведения Сельскохозяйственного учебного комитета. Петроград: Фототехническая Лаборатория О.З.У. 1918;X(3-4):222–228.
8. Второй В. Ф. Механизация сельскохозяйственного производства в период коллективизации Ленинградской области (1928-1936 годы). АгроЭкоИнженерия. 2020;3:122–136. DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10261> EDN: LCGKQY
9. Агроинженерная наука России: становление, современное состояние, стратегия развития. Под ред. Краснощекова Н. В., Лачуги Ю. Ф., Попова В. Д. М.: Росинформагротех, 2007. 622 с.
10. Шкурин А. Н. Устройство и механизация скотных дворов. М.-Л.: Сельколхозгиз, 1932. 222 с.
11. Арцыбашев Д. Д. Механизация усадебного хозяйства в совхозах и колхозах. М.-Л.: Сельколхозгиз, 1931. 157 с.
12. Страхов П. Сельскохозяйственные постройки. Техническая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1933. Т. 20. С. 478–496.
13. Цой Ю. А. Становление и развитие исследований по механизации и автоматизации животноводства в России. Вестник ВИЭСХ. 2008;(1(3)):39–49.
14. Краснов В. С. Ликвидировать отставание в механизации животноводства. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1940;(3):34–36.
15. Горновесов Г. В. Опыт механизации трудоемких процессов на животноводческих фермах. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1940;(10):5–8.
16. Лобачевский Я. П., Ценч Ю. С. Становление системы агроинженерного образования в СССР в 1920-1930-е гг. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: История России. 2020;19(3):684–698. DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-8674-2020-19-3-684-698> EDN: LAJUOK
17. Скорлыкин А. И. Навозоразбрасыватель Очерского завода. М.-Л.: Сельколхозгиз, 1932. 24 с.
18. Левкевич Р. Е., Сенотрусова С. В., Христианов К. Н. Ретроспективный анализ производства минеральных удобрений в советский период. Инновации и инвестиции. 2023;(4):397–401.

References

1. Parashchuk S. Cattle breeding in Russia. The complete Encyclopedia of Russian agriculture and related sciences. *Obshch. red. A. F. Rudzkiy. Izdanie A. F. Devriena*. Saint-Petersburg: *Tipografiya Imperatorskoy Akademii nauk*, 1903. Vol. VIII. pp. 1106–1135.
2. Artsybashev D. D. Agricultural engineering in Russia. The complete Encyclopedia of Russian agriculture and related sciences. *Obshch. red. A. F. Rudzkiy. Izdanie A. F. Devriena*. Saint-Petersburg: *Tipografiya Imperatorskoy Akademii nauk*, 1903. Vol. VIII. pp. 960–981.
3. Artsybashev D. D. Agricultural machinery and implements: a guide for choosing agricultural machinery and implements. *Biblioteka khozyaina* No.25. Saint-Petersburg, 1902. Iss. 2. 650 p.
4. Stroganov V. I. Machinery Department of the Imperial Agricultural Museum. Moscow – Saint-Petersburg: *Tipografiya M. P. Frolovoy*, 1909. pp. 239–313.
5. Erk F. N. From the history of the formation of agricultural mechanics in Russia. Saint-Petersburg: *SZNIIMESKh*, 2004. 100 p.
6. Florentev E. A. Agricultural industry. Vologda Regional Universal Scientific Library.
URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/106/986.htm> (accessed: 27.02.2024).
7. Baranovskiy A. A. On the testing of separators at the Petrograd Agronomic Institute in Detsky (Tsarskoye) Selo in October 1918. *Izvestiya Otdela mashinovedeniya Sel'skokhozyaystvennogo uchenogo komiteta*. Petrograd: *Fototekhnicheskaya Laboratoriya O.Z.U.* 1918;X(3-4):222–228.
8. Vtoryy V. F. Mechanisation of agricultural production during collectivisation in the Leningrad region in 1928-1936. *Agro-EkoInzheneriya = Agricultural Engineering* (Moscow). 2020;3:122–136. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10261>
9. Agroengineering science of Russia: formation, current state, development strategy. *Pod red. Krasnoshchekova N. V., Lachugi Yu. F., Popova V. D.* Moscow: *Rosinformagrotekh*, 2007. 622 p.
10. Shkurin A. N. Construction and mechanization of cattle yards. Moscow-Leningrad: *Sel'kolkhozgiz*, 1932. 222 p.
11. Artsybashev D. D. Mechanization of farmsteads in state farms and collective farms. Moscow-Leningrad: *Sel'kolkhozgiz*, 1931. 157 p.
12. Strakhov P. Agricultural buildings. Technical Encyclopedia. Moscow: *Sovetskaya entsiklopediya*, 1933. Vol. 20. pp. 478–496.
13. Tsoy Yu. A. Formation and development of research on mechanization and automation of animal husbandry in Russia. *Vestnik VIESKh*. 2008;(1(3)):39–49. (In Russ.).
14. Krasnov V. S. Eliminate the backlog in livestock mechanization. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisticheskogo sel'skogo kho-zyaystva*. 1940;(3):34–36. (In Russ.).
15. Gornovesov G. V. Experience in mechanization of labor-intensive processes on livestock farms. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisti-cheskogo sel'skogo khozyaystva*. 1940;(10):5–8. (In Russ.).
16. Lobachevskiy Ya. P., Tsench Yu. S. The establishment of a system of agricultural engineering education in the USSR in the 1920s and 1930s. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Istoriya Rossii = RUDN Journal of Russian History*. 2020;19(3):684–698. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-8674-2020-19-3-684-698>
17. Skorlykin A. I. The manure spreader of the Ochersk plant. Moscow – Leningrad: *Sel'kolkhozgiz*, 1932. 24 p.
18. Levkevich R. E., Senotrusova S. V., Khristianov K. N. Retrospective analysis of mineral fertilizers production in the soviet period. *Innovatsii i investitsii*. 2023;(4):397–401. (In Russ.).

Сведения об авторах

✉ **Вторый Валерий Федорович**, доктор техн. наук, главный научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское ш., д. 3, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: nii@sznii.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0026-6979>, e-mail: vtoryj@yandex.ru

Вторый Сергей Валерьевич, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское ш., д. 3, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: nii@sznii.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7169-1625>

Information about the authors

✉ **Valery F. Vtoryi**, DSc in Engineering, chief researcher, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: nii@sznii.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0026-6979>, e-mail: vtoryj@yandex.ru

Sergei V. Vtoryi, PhD in Engineering, senior researcher, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: nii@sznii.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7169-1625>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО

Юбилей Лидии Михайловны Колбиной



Колбина Лидия Михайловна – известный ученый в области пчеловодства, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства – структурного подразделения Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, заслуженный деятель наук Удмуртской Республики.

Л. М. Колбина родилась 12 мая 1964 в г. Ижевск. Азы профессии пчеловода Лидия Михайловна постигала в Работкинском совхозе-техникуме и Всесоюзном сельскохозяйственном техникуме, работала на пасеке подсобного хозяйства транспортного управления УАССР. Затем – обучение на зооинженерном факультете Ижевского сельскохозяйственного института и в очной аспирантуре Удмуртского государственного университета по специальности «Экология».

В 1998 г. Лидию Михайловну пригласили работать в отдел «Экологии и природопользования» Удмуртского НИИСХ, где под руководством доктора биол. наук Н. Г. Ильминских она начала исследования по разработке научных основ эффективного использования генофонда медоносных пчел в Удмуртской Республике как опылителей энтомофильных культур и индикаторов чистоты окружающей среды. В 2001 году Л. М. Колбина возглавила созданный в институте отдел «Пчеловодства и апидологии». По результатам исследований Лидия Михайловна успешно

защитила диссертации на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук по теме: «Кормовая база, качество продуктов пчеловодства и способы совершенствования технологии содержания пчел в условиях Удмуртской Республики» (1999 г.) и доктора с.-х. наук по теме: «Хозяйственно-полезные и биологические особенности медоносных пчел в медосборных условиях Западного Предуралья» (2009 г.). При финансовой поддержке Всемирного Фонда защиты пчел под руководством Лидии Михайловны проведено эпизоотическое обследование пасек в Удмуртской Республике и диагностика болезней пчел, выявлены причины их возникновения, рекомендованы профилактические и лечебные мероприятия. Одним из направлений исследований Л. М. Колбиной является воссоздание истории развития пчеловодства Удмуртской Республики.

Л. М. Колбина стояла у истоков создания Селекционного центра по среднерусской породе пчел медоносных, организованного в 2012 году на базе Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (г. Киров). Она является разработчиком селекционно-племенного плана племенного репродуктора по среднерусской породе в Удмуртской Республике, регулярно консультирует по вопросам сохранения и размножения этой уникальной породы медоносных пчел.

Научную деятельность Лидия Михайловна успешно сочетает с преподавательской и консультационной деятельностью в Удмуртском государственном аграрном университете, являясь, в том числе, членом диссертационного совета по специальности 06.02.10 – Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства (с.-х. науки).

Лидия Михайловна – член редакционной коллегии научно-практического журнала «Вестник Ижевской ГСХА» и рецензент научного журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока».

Лидия Михайловна – автор более 200 научных публикаций, включая 6 монографий, 15 учебно-методических пособий. Новизна работ подтверждена 4 патентами РФ, получены 3 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ, зарегистрированы 2 рационализаторских предложения.

***Поздравляя Лидию Михайловну с юбилеем, выражаем признательность
за многогранную научную и просветительскую деятельность,
за вклад в сохранение генофонда медоносных пчел и развитие российского пчеловодства.
Желаем доброго здоровья, созидательного настроения, увлеченной команды соратников
и последователей на пути к новым достижениям!***

К 70-летию юбилею Александра Михайловича Гурьянова



Александр Михайлович Гурьянов – известный ученый в области животноводства и кормопроизводства, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, заслуженный деятель науки Республики Мордовия, почетный работник агропромышленного комплекса России.

Александр Михайлович родился 9 мая 1954 г. в селе Низовка Ардатовского района Мордовской АССР. А. М. Гурьянова, как ученого, сформировал Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева, в котором он преподавал более 20 лет на кафедре общей и частной зоотехнии, по результатам исследований защитил кандидатскую (1981 г.) и докторскую (1995 г.) диссертации, работал заместителем декана сельскохозяйственного факультета университета. В качестве генерального директора Некоммерческого партнерства «Мордовмясо» (1998–2021 гг.) А. М. Гурьянов занимался внедрением научных разработок.

Новым не менее значимым этапом профессиональной деятельности А. М. Гурьянова стало его назначение в 2001 году на должность директора Мордовского научно-исследовательского института сельского хозяйства. К тому времени вклад А. М. Гурьянова в научное обеспечение деятельности сельскохозяйственных предприятий был отмечен Правительством Республики Мордовия. Впоследствии под его руководством разработана долгосрочная Программа развития свиноводства Мордовии, внедряется технология поточного производства свинины. Александр Михайлович введен в состав научно-технических советов при Правительстве Республики Мордовия и Минсельхозпрода РМ, становится экспертом комитета по аграрным вопросам Государственной Думы РФ.

Под руководством А. М. Гурьянова Мордовский НИИСХ усиливает взаимодействие с ведущими российскими научными учреждениями, начинает развивать международное сотрудничество, растет уровень исследований и публикационная активность сотрудников. Значимым событием стало создание Центра координатного земледелия (головная организация – Мордовский НИИСХ). Институт увеличивает производство семян отечественной селекции, обеспечивая потребности сельхозпроизводителей республики в оригинальных семенах зерновых культур на 56 % (по данным 2023 года).

Опыт административной и научно-производственной деятельности А. М. Гурьянова востребован директорами научных учреждений Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого: он избран заместителем председателя Президиума ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. А. М. Гурьянов входит в состав редакционного совета научного журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока».

Научными исследованиями под руководством и при непосредственном участии А. М. Гурьянова выявлены закономерности обмена минеральных веществ в организме растущих и супоросных свиней, установлены нормы их скармливания в рационах; разработаны практические рекомендации по использованию биологически активных веществ в составе белково-витаминно-минеральных добавок, премиксов и комбикормов в животноводстве; созданы технологии по повышению продуктивности естественных кормовых угодий и рекомендации по заготовке объемистых кормов; разработаны теоретические и практические основы кормления и разведения молочного скота в условиях Мордовии, завершаются исследования по созданию нового интенсивного типа красно-пестрого крупного рогатого скота с надоем выше 10 тыс. кг молока. А. М. Гурьянов – автор 413 печатных трудов, в т. ч. 8 монографий, 21 научно-практических рекомендаций и учебно-методических пособий. Александр Михайлович – член диссертационного совета Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарева, является руководителем многочисленных дипломных работ и 10 защищенных кандидатских диссертаций.

Поздравляя Александра Михайловича с 70-летием, благодарим за личный вклад в развитие приоритетных направлений аграрной науки, верность традициям и открытость новому, дружескую поддержку и незыблемые принципы, содействие в решении научно-организационных проблем, подготовку достойных учеников и преемников.

С новым жизненным этапом, Александр Михайлович, активным и позитивным!
Реализуйте Ваши профессиональные знания, делитесь опытом,
созидайте и вдохновляйте, живите со вкусом!



Новый сорт озимой ржи Батист



С 2023 г. внесен в Государственный реестр селекционных достижений с допуском по Северному и Волго-Вятскому регионам Российской Федерации.

Характеризуется высокой зимостойкостью (4,3 балла) и активным отрастанием после поражения снежной плесенью (80–92 %), средней устойчивостью к листовым и стеблевым заболеваниям и корневым гнилям. Средняя урожайность сорта за годы конкурсного сортоиспытания составила более 5 т/га. Сорт характеризуется устойчивостью к полеганию и толерантностью к низкоплодородным кислым почвам с повышенным содержанием ионов Al^{3+} . Сорт продовольственного назначения.

Определяющие показатели коммерческой выгоды возделывания сорта: высокая зимостойкость, алюмо- и кислотоустойчивость, продуктивность, устойчивость к полеганию и поражению снежной плесенью, хорошие хлебопекарные качества 2-го класса.

Авторы сорта Батист: Е. А. Шляхтина, Ю. П. Савельев, Е. И. Уткина, Л. И. Кедрова, О. Н. Рылова, Л. М. Микрюкова, Е. Я. Новикова, Е. С. Парфенова, М. Г. Шамова.



Наличие семян озимой ржи для реализации в 2024 г.

Сорт	Репродукция	Год урожая	Кол-во, т
Фаленская 4	ПР-2	2022	10
Фаленская 4	ПР-2	2023	12
Рушник	ПР-2	2023	27
Графиня	ПР-2	2022	12
Графиня	ПР-2	2023	6

Контакты:

зав. отделом озимой ржи
Уткина Елена Игоревна
+7 (8332) 33-10-26,
priemnaya@fanc-sv.ru

Сорт озимой ржи Фаленская 4 – высокозимостойкий, устойчивый к снежной плесени и полеганию, с потенциальной урожайностью более 9 т/га. Характеризуется высоким качеством зерна и хорошими солодовыми свойствами. В случае изреженности посева, сорт способен восстанавливать плотность стеблестоя за счет повышенной продуктивной кустистости. В рейтинге сортов озимой ржи по объемам высева семян в Российской Федерации входит в пятерку лучших.

Сорт Фаленская 4 на Всероссийском Дне поля (Ростовская область) был отмечен Дипломом «Гран-при» как «Лучший сорт селекции зерновых культур 2007 года».

Сорт озимой ржи Рушник – сочетает повышенную зимостойкость и регенерационную способность после поражения снежной плесенью со стабильной урожайностью. Отличительной особенностью сорта являются высокие хлебопекарные качества. Показатель «число падения» у сорта Рушник выше, чем у стандарта Вятка 2, который относится к числу лучших по хлебопекарным свойствам отечественных сортов озимой ржи. Сорт дольше сохраняет низкую амилолитическую активность при запаздывании с уборкой урожая.

Сорт Графиня – высокозимостойкий, адаптивный, формирует высокую стабильную урожайность, устойчив к полеганию, обладает хорошим качеством зерна. Максимальная урожайность – 8,4 т/га. Обладает способностью формировать урожайность на уровне или выше (3,17–3,47 т/га) адаптивных сортов при возделывании на низкоплодородных кислых почвах с повышенным содержанием ионов Al^{3+} . Имеет прочную соломинку и соответственно высокую устойчивость к полеганию (9 баллов).