

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 26
№ 6
2025

Vol. 26
No. 6
2025

© Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудниченко»
(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,
Наталья Аркадьевна Гарифуллина – ученый секретарь научно-организационного отдела 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, главный специалист по коммуникациям и инновациям, главный научный сотрудник 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

Джавалов Эдуард Джавадович

д.в.н., заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, профессор кафедры эпизоотологии им. В. П. Урбана ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный ветеринарный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Дидманидзе Отари Назирович

д.т.н., профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, 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 агро-технологический 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 агро-технологический 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, ВИНИТИ, 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.pressa-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

Первое фото
на первой странице обложки
и на четвертой странице обложки
А. Широких.

Подписано к печати
22.12.2025

Дата выхода в свет

29.12.2025
Формат 60x84^{1/8}.
Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 29,53.

Тираж 100 экз. Заказ 37.
Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

Адрес типографии:

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

Савченко
Иван Васильевич

Самоделькин
Александр
Геннадьевич

Титова
Вера Ивановна

Токарев
Антон Николаевич

Урбан
Эрома Петрович

Широких
Ирина Геннадьевна

Щенникова
Ирина Николаевна

Changzhong Ren

Ivanovs Semjons

Marczuk Andrzej

Náhlik 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
Сибяттулович

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 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.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, Технолого-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, директор Мордовского
НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, 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 сотрудник
лаборатории зерно- и семяочистительных машин ФГБНУ ФАНЦ Северо-
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 государственная
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,

Natalia A. Garifullina, scientific Secretary, the Scientific and Organization Department, 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, chief Communications and Innovation Specialist, chief researcher of the 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, Honored Worker of Science of the Russian Federation, 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-rr.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

The first photo is on the first page of the cover and the fourth page of the cover. A. Shirokikh.

Passed for printing
22.12.2025

Date of publication
29.12.2025

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pecs. l. 29.53.
Circulation 100 copies. Order 37.
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
- 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
- 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, Director of Mordovia Agricultural Research Institute –Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Saransk, 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. Sheshegova** 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

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

С. С. Салтыков, М. В. Тулякова, Г. А. Баталова, С. В. Пермякова

Урожайность и адаптивный потенциал коллекционных образцов пленчатого овса в условиях Волго-Вятского региона..... 1195

И. В. Зобнина, В. А. Корелина, О. Б. Батакова, А. Н. Носков

Кластерная оценка коллекционных плёнчатых образцов овса посевного в условиях Северного региона..... 1206

И. В. Лыскова, О. Н. Башлакова, П. В. Пермяков, Е. И. Кратюк

Новый сорт картофеля Забияка для условий Волго-Вятского региона..... 1218

Е. П. Шанина, Д. А. Оберюхтин

Хозяйственно полезные признаки картофеля, позволяющие прогнозировать его урожайность..... 1226

О. П. Кизашпаева, А. В. Гулин, В. Ю. Джабраилова, А. Н. Костенко

Новые сорта томата для Юга России..... 1241

Т. А. Базанов, И. В. Ущановский, Т. А. Рожмина, Н. Н. Логинова, Е. В. Минина, П. Д. Вересова

Практическое применение SSR-маркеров в селекции льна (*Linum usitatissimum* L.)..... 1251

К. А. Пупыкина, И. Е. Анищенко, Е. В. Красюк, О. Ю. Жигунов, З. Х. Шигапов

К вопросу изучения биохимического состава некоторых представителей рода *Thymus* L. в культуре..... 1263

Д. А. Дементьев, И. Ю. Иванова, А. А. Фадеев

Коллекционные сорта хмеля, адаптированные к условиям центральной части Волго-Вятского региона..... 1272

В. М. Мотов, М. В. Мотова, П. М. Скопин, И. А. Устюжанин, Т. М. Середин

Фенологические фазы развития и семенная продуктивность сортообразцов лука-шалота в условиях севера Европейской части РФ..... 1285

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

А. В. Харина, Н. В. Новоселова, Е. В. Пахолкова

Поиск доноров *Stb*-генов устойчивости к септориозу среди коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы. 1298

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ

П. А. Стариков, А. С. Олькова, Т. К. Шешегова, Л. М. Щеклеина, П. Д. Степанов

Изучение биоконтрольных свойств комплексов *Trichoderma atroviride* и diaзотрофов, оценка их экологической безопасности..... 1309

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

А. Ю. Шариков, М. В. Амелякина, А. А. Голубев, Е. Н. Соколова, В. В. Ионов, Д. В. Поливановская, В. В. Иванов

Экструдированные хлебцы с зерно-черносмородиновой бардой: физико-химические и сенсорные показатели 1320

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

В. М. Лукомец, В. П. Савенков, А. С. Бушнев

Оптимизация применения удобрений под яровой рапс в лесостепи Центрального федерального округа России 1332

Я. В. Пухальский, С. И. Лоскутов, А. И. Осипов, А. И. Якубовская, В. Р. Турковская, И. А. Каменева

Эффективность экстракта зоокомпоста черной львинки в качестве органического удобрения для микрорзелени подсолнечника..... 1342

А. Ф. Галкин, М. Н. Железняк, А. Ф. Жирков

Изменение термического сопротивления снежного покрова при мелиорации земель в криолитозоне..... 1355

ЗООТЕХНИЯ

О. А. Завьялов, А. Н. Фролов

Влияние температуры окружающей среды на продуктивные качества и биологические особенности бычков черно-пестрой породы в ранний период постнатального онтогенеза..... 1365

И. С. Недашковский, А. Ф. Контэ, А. А. Сермягин, Д. Н. Кольцов, В. В. Волкова

Идентификация генов-кандидатов, связанных с экстерьером крупного рогатого скота голштинизированной черно-пестрой породы на основе GWAS-анализа..... 1375

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

С. В. Николаев

Динамика концентрации прогестерона в крови крупного рогатого скота при применении препарата Прогестамаг®.. 1402

М. Н. Исакова, Я. Ю. Лысова, О. В. Соколова, А. С. Красноперов, В. Д. Зубарева

Оценка антимикробной активности средств для обработки вымени у коров по отношению к микроорганизмам – возбудителям мастита..... 1411

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

М. В. Беляков. Сортная идентификация сои по статистическим параметрам светопоглощения..... 1422

А. Т. Рыбак, Д. В. Рудой, А. В. Ольшевская, С. В. Теплякова, А. С. Пруцков

Моделирование систем приводов с автоматической компенсацией воздействия попутной нагрузки на рабочий орган... 1431

CONTENTS

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

- Sergei S. Saltykov, Marina V. Tulyakova, Galina A. Batalova, Svetlana V. Permyakova*
Yield and adaptive potential of collection samples of filmy oats in the conditions of the Volga-Vyatka region..... 1195
- Irina V. Zobnina, Valentina A. Korelina, Olga B. Batakova, Alexey N. Noskov*
Cluster assessment of collection filmy samples of oats in the Northern region..... 1206
- Irina V. Lyskova, Olga N. Bashlakova, Pavel V. Permyakov, Elena I. Kratyuk*
A new potato cultivar 'Zabiyaka' for the conditions of the Volga-Vyatka region..... 1218
- Elena P. Shanina, Denis A. Oberiukhtin*
Agronomic traits of potato enabling yield prediction..... 1226
- Olga P. Kigashpaeva, Alexander V. Gulin, Vera Yu. Dzhabrailova, Alexander N. Kostenko*
Breeding new tomato cultivars for southern Russia..... 1241
- Taras A. Bazanov, Igor V. Ushapovsky, Tatyana A. Rozhmina, Natalya N. Loginova, Ekaterina V. Minina, Polina D. Veresova*
Practical application of SSR-markers in flax breeding (*Linum usitatissimum* L.)..... 1251
- Kira A. Pupykina, Irina E. Anishchenko, Ekaterina V. Krasnyuk, Oleg Yu. Zhigunov, Zinnur Kh. Shigapov*
To the biochemistry of some representatives of the genus *Thymus* L. under the culture..... 1263
- Dmitriy A. Dementyev, Inga Y. Ivanova, Andrey A. Fadeev*
Collected hop varieties to the conditions of the central part of the Volga-Vyatka region..... 1272
- Victor M. Motov, Margarita V. Motova, Pavel M. Skopin, Igor A. Ustiuzhanin, Timofey M. Seredin*
Phenological development phases and seed productivity of shallot accessions in the northern European part of the Russian Federation..... 1285

PLANT PROTECTION

- Anastasia V. Kharina, Nina V. Novoselova, Elena V. Pakholkova*
Search for donors of *Stb* genes for resistance to septoria among collection samples of spring soft wheat..... 1298

AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

- Pavel A. Starikov, Anna S. Olkova, Tatyana K. Sheshegova, Lucia M. Shchekleina, Pavel D. Stepanov*
Study of biocontrol properties of *Trichoderma atroviride* and diazotroph complexes and assessment of their environmental safety..... 1309

STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

- Anton Yu. Sharikov, Maria V. Amelyakina, Alexey A. Golubev, Elena N. Sokolova, Vladislav V. Ionov, Daria V. Polivanovskaya, Viktor V. Ivanov*
Extruded crispbreads with grain-blackcurrant distillers' stillage: the physicochemical and sensory indicators..... 1320

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

- Vyacheslav M. Lukomets, Valery P. Savenkov, Alexander S. Bushnev*
Rational use of fertilizers for spring rapeseed in the forest-steppe of the Central Federal District of Russia..... 1332
- Jan V. Puhalsky, Svyatoslav I. Loskutov, Anatoly I. Osipov, Alla I. Yakubovskaya, Valeria R. Turkovskaya, Irina A. Kameneva*
Efficiency of black soldier fly zoocompost extract as an organic fertilizer for sunflower microgreens..... 1342
- Aleksandr F. Galkin, Mikhail N. Zheleznyak, Aleksandr F. Zhirkov*
Change in thermal resistance of snow cover by land reclamation in cryolithozone..... 1355

ZOOTECHNY

- Oleg A. Zavyalov, Alexey N. Frolov*
The influence of ambient temperature on the productive traits and biological peculiarities of Black-and-White bulls in the early period of postnatal ontogenesis..... 1365
- Igor S. Nedashkovsky, Aleksandr F. Konte, Aleksandr A. Sermyagin, Dmitry N. Koltsov, Valeria V. Volkova*
Identification of candidate genes associated with conformation in Holsteinized Black and White cattle based on GWAS analysis..... 1375

VETERINARY MEDICINE

- Semyon V. Nikolaev*
Dynamics of progesterone concentration in the blood of cattle after the use of Progestamag®..... 1402
- Maria N. Isakova, Yana Yu. Lysova, Olga V. Sokolova, Alexander S. Krasnoperov, Vladlena D. Zubareva*
Evaluation of the antimicrobial activity of udder treatment products for cows against microorganisms causing mastitis.. 1411

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

- Mikhail V. Belyakov*. Varietal identification of soybeans by statistical parameters of light absorption..... 1422
- Alexander T. Rybak, Dmitry V. Rudoy, Anastasiya V. Olshevskaya, Svetlana V. Teplyakova, Alexey S. Prutskov*
Modeling of drive systems with automatic compensation of accompanying load impact on the working unit..... 1431

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1195-1205>
УДК 633.13:631.52(470.342)



Урожайность и адаптивный потенциал коллекционных образцов пленчатого овса в условиях Волго-Вятского региона

© 2025. С. С. Салтыков[✉], М. В. Тулякова, Г. А. Баталова, С. В. Пермякова
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» г. Киров, Российская Федерация

Цель исследований – оценить в коллекционном питомнике 15 образцов ярового пленчатого овса по урожайности и параметрам адаптивности. Исследования выполнены в 2022–2024 гг. в условиях Кировской области (Волго-Вятский регион). Наибольшее влияние на урожайность оказал фактор «год» – 60,1 %. Индекс условий среды (I) по годам варьировал от +105 до -151. В среднем за годы исследований высокую урожайность сформировали образцы к-15340 Уран (541 г/м²), к-3969 0122 (539 г/м²), к-3967 0144 (531 г/м²). Выделены образцы с высокой стрессоустойчивостью (U₂ - U₁) – к-15495 Всадник (-94), к-3967 0144 (-175), к-15498 Уралец (-196); с высокой генетической гибкостью (U₁ + U₂)/2 – к-3969 0122 (517), к-15340 Уран (509), к-3967 0144 (504). Наибольшая общая адаптивная способность (ОАС) выявлена у образцов к-15340 Уран (41), к-3969 0122 (39), к-3967 0144 (31). По комплексу показателей выделены наиболее стабильные образцы – к-15495 Всадник, к-3967 0144, к-15498 Уралец (коэффициент компенсации (K_{gi}) – 0,08–0,34; относительная стабильность генотипа (S_{gi}) – 9,8–22,3 %; вариация специфической адаптивной способности (σ²АСi) – 47,9–101,8; фактор стабильности (SF) – 1,22–1,57). Слабой отзывчивостью на изменение условий среды характеризовались образцы к-15495 Всадник, к-3967 0144, к-15291 НЕТМАН, к-15498 Уралец, к-15429 CWAL, к-15496 Стиплер (коэффициент линейной регрессии (b_i) – 0,33–0,97) Высокой стабильностью по признаку «урожайность» обладали образцы к-15495 Всадник, к-3967 0144 (селекционная ценность генотипа (СЦГ) – 398,6–343,8). Очень высокая положительная корреляционная зависимость выявлена между значениями урожайности и ОАС (r = 1,00). Для дальнейшей селекционной работы представляют интерес коллекционные образцы к-15495 Всадник, к-15498 Уралец (Россия), к-15429 CWAL (Польша), к-3967 0144 (США), которые получили наименьшую сумму рангов (30–52) при ранжировании по показателям адаптивной способности.

Ключевые слова: *Avena sativa* L., коллекционный питомник, стрессоустойчивость, абиотический стресс, корреляция

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2025-0007).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Салтыков С. С., Тулякова М. В., Баталова Г. А., Пермякова С. В. Урожайность и адаптивный потенциал коллекционных образцов пленчатого овса в условиях Волго-Вятского региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1195–1205. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1195-1205>

Поступила: 20.03.2025 Принята к публикации: 18.11.2025 Опубликована онлайн: 26.12.2025

Yield and adaptive potential of collection samples of filmy oats in the conditions of the Volga-Vyatka region

© 2025. Sergei S. Saltykov[✉], Marina V. Tulyakova, Galina A. Batalova, Svetlana V. Permyakova

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

The purpose of the research was to evaluate 15 samples of spring filmy oats in a collection nursery according to the yield and adaptability parameters. The research was carried out in 2022–2024 in the conditions of the Kirov region (Volga-Vyatka region). The "year" factor had the greatest impact on the yield – 60.1 %. The index of environmental conditions (I) ranged from +105 to -151 over the years. On average, over the years of the research, high yields were formed by samples k-15340 'Uran' (541 g/m²), k-3969 0122 (539 g/m²), k-3967 0144 (531 g/m²). Samples with high stress resistance (U₂ - U₁) were identified – k-15495 'Vsadnik' (-94), k-3967 0144 (-175), k-15498 'Uralets' (-196); with high genetic flexibility (U₁ + U₂)/2 – k-3969 0122 (517), k-15340 'Uran' (509), k-3967 0144 (504). The highest total adaptive capacity (TAC) was found in samples k-15340 'Uran' (41), k-3969 0122 (39), and k-3967 0144 (31). According to the set of indicators, the most stable samples were identified – k-15495 'Vsadnik', k-3967 0144, k-15498 'Uralets' (compensation coefficient (K_{gi}) – 0.08–0.34; relative genotype stability (S_{gi}) – 9.8–22.3 %; variants of specific adaptive ability (σ²АСi) – 47.9–101.8; stability factor (SF) – 1.22–1.57). Samples k-15495 'Vsadnik', k-3967 0144, k-15291 'HETMAN', k-15498 'Uralets', k-15429 'CWAL',

and k-15496 'Stipler' were characterized by weak responsiveness to changes in environmental conditions (linear regression coefficient (b) – 0.33–0.97). Samples 15495 'Vsadnik', k-3967 0144 (breeding value of genotype (BVG) – 398.6–343.8) had high stability according to the "yield" trait. A very high positive correlation was found between the values of yield and TAC_i ($r = 1.00$). Collection samples k-15495 'Vsadnik', k-15498 'Uralets' (Russia), k-15429 'CWAL' (Poland), k-3967 0144 (USA) which received the lowest amount of ranks (30–52) when ranked in terms of adaptive ability are of interest for further breeding work.

Keywords: *Avena sativa* L., collection nursery, stress tolerance, abiotic stress, correlation

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 (topic No. FNWE-2025-0007).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert assessment of this work.

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

For citation: Saltykov S. S., Tulyakova M. V., Batalova G. A., Permyakova S. V. Yield and adaptive potential of collection samples of filmy oats in the conditions of the Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1195–1205. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1195-1205>

Received: 20.03.2025

Accepted for publication: 18.11.2025

Published online: 26.12.2025

Овес плёнчатый – одна из основных зерновых культур Волго-Вятского региона – зоны рискованного земледелия, где важнейшим направлением при решении экономических и экологических проблем растениеводства является создание и выращивание сортов, обладающих высокой адаптивной способностью, стабильностью и устойчивостью к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам внешней среды [1, 2].

Основным показателем ценности сорта является урожайность, характеризующая качество генотипов образцов овса [3]. Как известно, высокую урожайность формируют генотипы, которые более адаптивны к абиотическому стрессу [4, 5, 6].

Сочетание в одном сорте высокой урожайности и устойчивости к абиотическим условиям – основная цель селекции. Её эффективность зависит от генетического разнообразия. В гибридизацию необходимо включать сорта, адаптивные к конкретным условиям среды [7].

Разнообразии генотипов в условиях нестабильности агроклиматических ресурсов и низкого плодородия почв Волго-Вятского региона предполагает селекцию и использование в производстве сортов, способных формировать экономически значимую урожайность [8].

Изучение, создание, распространение сортов, имеющих высокую адаптивную способность, стабильность и устойчивость к неблагоприятным абиотическим факторам является одной из задач селекции овса в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока [9]. В связи с этим необходим поиск образцов, обладающих

устойчивостью к абиотическим стрессам и высокой экологической устойчивостью [10].

Цель исследований – оценить коллекционные образцы овса по урожайности, параметрам адаптивности для дальнейшего использования в селекции при создании сортов, наиболее приспособленных к абиотическим условиям Волго-Вятского региона.

Научная новизна – выделены новые коллекционные образцы овса плёнчатого, адаптивные к условиям Волго-Вятского региона.

Материал и методы. Работу проводили в 2022–2024 гг. на опытном поле Фалёнской селекционной станции – филиале ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Представлены результаты оценки 15 образцов овса плёнчатого из коллекции ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. В. Вавилова» (ВИР): к-15291 НЕТМАН, к-15429 CWAL (Польша); к-15495 Всадник, к-15496 Стиплер, к-15340 Уран, к-15498 Уралец (Россия); к-15419 KREZUS, к-15468 Poseidon, к-15473 Ozon, к-15472 Symphony (Германия); к-3960 0131, к-3969 0122, к-3967 0144, к-3951 0146 (США); к-4103 ОТ 53-4 (Китай), стандартом служил сорт Архан.

Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая ($pH_{\text{кол}}$ – 5,0–5,2; содержание подвижных соединений фосфора – 272–316 мг/кг, калия – 150–183 мг/кг (по методу Кирсанова)). Исследования выполняли согласно методическим указаниям¹. Посев образцов проводили на делянках площадью 1 м² в трехкратной повторности, сорт-стандарт высевали через 10 делянок. Предшественник – горох посевной.

¹Лоскутов И. Г., Ковалева О. Н., Блинова Е. В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР, 2012. 63 с.

Индекс условий среды (I_j) рассчитывали по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. З. Пакудина и Л. М. Лопатиной², изменчивость урожайности (CV) – по методике Б. А. Доспехова³.

Общую адаптивную способность (OAC_i), специфическую адаптивную способность (SAC_i), относительную стабильность сорта (S_{gi}), коэффициент компенсации (K_{gi}) и селекционную ценность генотипа ($СЦГ_i$) определяли по методике А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой⁴.

Воздействие факторов окружающей среды на урожайность образцов овса рассчитывали по коэффициенту регрессии (b_i), стрессоустойчивость – по уравнениям А. А. Rossiel, J. Nemblin в изложении А. А. Гончаренко⁵, фактор стабильности (SF) – согласно методике L. Lewis в изложении О. А. Юсовой и др. [11].

Ранжирование образцов пленчатого овса проводили по 9 параметрам адаптивности по признаку «урожайность». Использование метода ранжирования – присвоения определенного места, балла по какому-либо признаку

позволяет произвести всестороннюю оценку образцов овса и выделить среди них наиболее адаптивные.

Статистическая обработка данных выполнена двухфакторным дисперсионным анализом с использованием пакета селекционно-ориентированной программы AGROS, версия 2.07.

Метеоусловия периодов вегетации ярового овса в годы исследований представлены на рисунках 1 и 2. Вегетационный период 2022 г. характеризовался как засушливый ($ГТК^6 = 0,75$), но май и июнь были достаточно влажными ($ГТК - 1,68$ и $1,40$) при пониженной температуре воздуха относительно среднего многолетнего значения – на $1,9$ и $0,7$ °C соответственно. Сумма осадков в мае составила $63,8$ мм, в июне – $66,2$ мм (138 и 100 % от нормы). Июль и август были засушливыми ($ГТК - 0,84$ и $0,14$). В первой декаде июля выпало 36 мм осадков – 119 % от нормы. Запасы влаги мая, июня и I декады июля оказали положительное влияние на рост и развитие растений овса на протяжении всего периода вегетации.

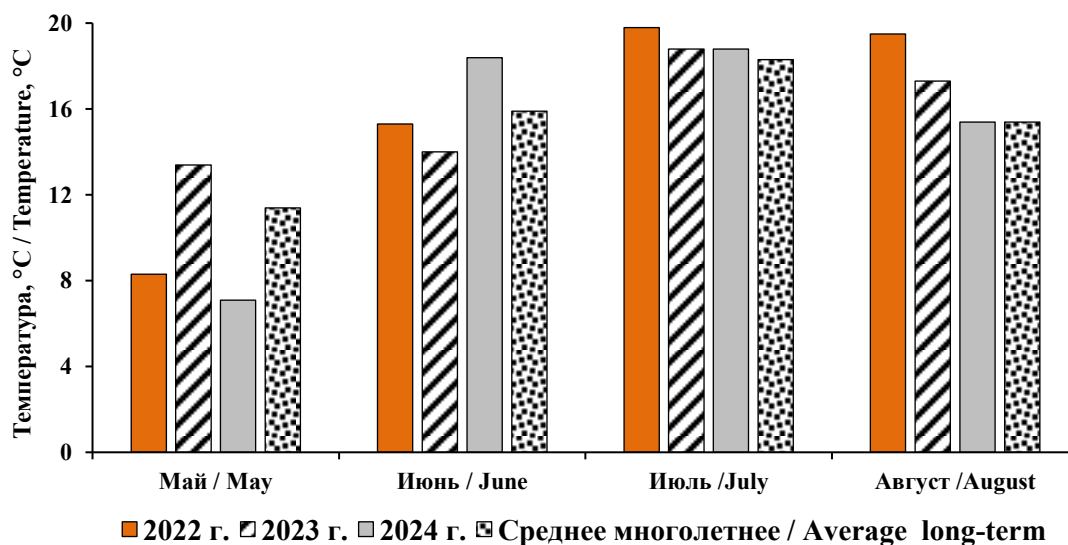


Рис. 1. Среднемесячная температура воздуха в период вегетации ярового овса, °C (по данным Фаленской метеостанции, 2022–2024 гг.) /

Fig. 1. Average monthly air temperature during the growing season of spring oats, °C (according to the data of the Falenki weather station, 2022–2024)

²Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур. Сельскохозяйственная биология. 1984;19(4):109–113.

³Доспехов Б. А. Методы полевого опыта (с основами статической обработки исследований): учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. М.: Альянс, 2014. 350 с.

⁴Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Экологическая селекция растений. Минск: Тэхналогія, 1997. 372 с.

⁵Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. Вестник РАСХН. 2005;(6):49–53.

⁶Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;20:169–178.

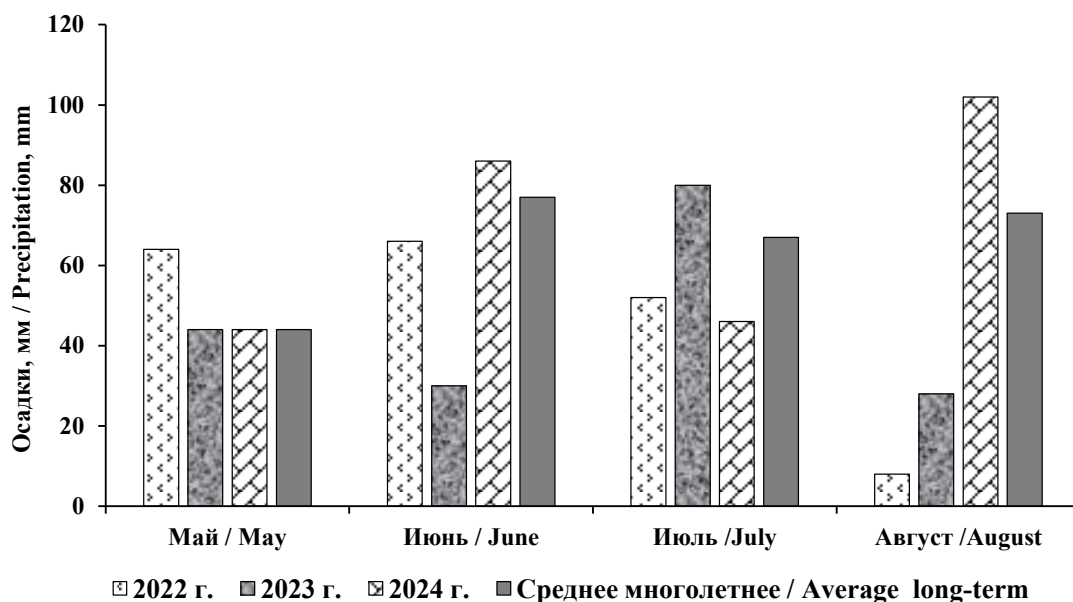


Рис. 2. Среднемесячное количество осадков в период вегетации ярового овса, мм (по данным Фаленской метеостанции, 2022–2024 гг.) /

Fig. 2. Average monthly precipitation during the growing season of spring oats, mm (according to the data of the Falenki weather station, 2022-2024)

В 2023 г. в мае выпало 44,3 мм осадков (96 % от нормы), ГТК = 0,96. В III декаде мая и I декаде июня выпало 40,1 мм осадков (период «посев-кущение»), что составило 113 % от средней многолетней. В июне при ГТК, равном 0,65, на формирование высокой урожайности повлияли осадки, выпавшие в важный период вегетации – «кущение – выход в трубку». В июле сумма осадков составила 79,5 мм (103 % от нормы), ГТК = 1,36. Всё это позволило сформировать высокий урожай зерна.

В 2024 г. ГТК был равен 1,44, что характеризует период вегетации как достаточно влажный. Температура и осадки в мае имели значения ниже средних многолетних на 3,3 °C и 6,9 мм соответственно при ГТК 1,38. Среднемесячная температура воздуха в июне и июле превышала среднее многолетнее значение на 2,4 и 1,1 °C соответственно. Июнь характеризовался достаточным увлажнением (ГТК = 1,55), июль – недостаточным (ГТК = 0,79). Количество выпавших осадков в июле составило 46,2 мм, или 60 % от нормы, недостаток влаги в этот важный период вегетации негативно повлиял на формирование урожайности овса.

Результаты и их обсуждение. Индекс условий среды (I_j) даёт возможность оценить степень благоприятности условий вегетации растений. За годы исследований I_j менялся от положительных значений 105 (2022 г.) и 48 (2023 г.) до отрицательных – -151 (2024 г.), соответственно в 2022 и 2023 гг. урожайность

коллекционных образцов овса была выше, чем в 2024 г. Это позволило дать всестороннюю оценку изученных образцов овса по параметрам адаптивности.

В 2022 г. урожайность в опыте варьировала от 500 г/м² у образца к-15291 НЕТМАН до 682 г/м² у образца к-15472 Symphony и составила в среднем 605 г/м². По урожайности стандарт Архан превзошли образцы к-15419 KREZUS, к-15468 Poseidon, к-15473 Ozon, к-3960 0131, к-3969 0122, к-4103 ОТ 53-4, к-15472 Symphony, к-15340 Уран, к-3951 0146 на 49 г/м², 50, 41, 28, 60, 83, 89, 64, 58 г/м² соответственно (НСР₀₅ = 56).

В 2023 г. наибольшую урожайность сформировал образец к-15429 CWAL – 628 г/м², наименьшую – к-4103 ОТ 53-4 – 423 г/м². По урожайности стандарт Архан превысили образцы к-15291 НЕТМАН, к-15429 CWAL, к-15495 Всадник, к-15496 Стиплер, к-15468 Poseidon, к-15473 Ozon, к-3969 0122, к-15472 Symphony, к-15340 Уран, к-3967 0144, к-3951 0146 на 76 г/м², 104, 5, 78, 6, 9, 60, 50, 81, 62, 39 г/м² соответственно (НСР₀₅ = 60).

В 2024 г. урожайность коллекционных образцов овса пленчатого была значительно ниже предыдущих лет. Средняя урожайность образцов в опыте за год составила 349 г/м² и варьировала от 270 г/м² (к-15472 Symphony) до 435 г/м² (к-15495 Всадник). По урожайности стандарт Архан превысили образцы к-15291 НЕТМАН, к-15429 CWAL, к-15495 Всадник,

к-15498 Уралец, к-15419 KREZUS, к-15468 Poseidon, к-15473 Ozon, к-3960 0131, к-3969 0122, к-15340 Уран, к-3967 0144, к-3951 0146 на 44 г/м², 52, 114, 20, 3, 21, 10, 29, 59, 40, 95, 7 г/м² соответственно (НСР₀₅ = 50).

Средняя урожайность по опыту за годы исследований составила 500 г/м²; пределы варьирования урожайности – от 270 г/м² (2024 г.) до 682 г/м² (2022 г.) (табл. 1).

Таблица 1 – Урожайность коллекционных образцов овса плёнчатого, г/м² / Table 1 – The yield of collection samples of filmy oats, g/m²

Номер в каталоге ВИР / The number in the VIR catalog	Образец / Sample	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее / Average
к-15291	‘НЕТМАН’	500	600*	365	488
к-15429	‘CWAL’	572	628*	373*	524
к-15495	Всадник / ‘Vsadnik’	504	529	435*	489
к-15496	Стиплер / ‘Stipler’	521	602*	318	480
к-15498	Уралец / ‘Uralets’	537	492	341	457
к-15419	‘KREZUS’	642	477	324	481
к-15468	‘Poseidon’	643	530	342	505
к-15473	‘Ozon’	634	533	331	499
к-3960	0131	621	516	350	496
к-3969	0122	653	584	380*	539
к-4103	OT 53-4	676*	423	321	473
к-15472	‘Symphony’	682*	574	270	509
к-15340	Уран / ‘Uran’	657	605*	361	541
к-3967	0144	591	586*	416*	531
к-3951	0146	651	563	328	514
-	Архан, ст. / ‘Arkhan’, st.	593	524	321	479
Среднее по опыту / Average in experience		605	548	349	500
НСР ₀₅ /LSD ₀₅		56	60	50	-
I _j		105	48	-151	-

*Статистически значимая прибавка к стандарту / *Statistically significant increase to the standard

Методом дисперсионного анализа установлено достоверное влияние факторов и их взаимодействие на урожайность овса. На изменение урожайности основное влияние оказал фактор А (год) – 60,1 %. Доля влияния фактора В (сорт) мала и составила 10,08 %. Взаимодействие факторов (А×В) – 29,9 % показывает возможность повышения урожайности при использовании адаптивных сортов (табл. 2).

Стрессоустойчивость коллекционных образцов определяли по показателям «стрессоустойчивость» и «гибкость генотипа» (табл. 3). Стрессоустойчивость ($Y_2 - Y_1$) – это разница между минимальной и максимальной урожай-

ностью, чем меньше величина этого показателя, тем выше стрессоустойчивость. В наших исследованиях выделены образцы с высокой устойчивостью к стрессу: к-15495 Всадник (-94), к-3967 0144 (-175), к-15498 Уралец (-196).

Гибкость генотипа $(Y_1 + Y_2)/2$ – это среднее арифметическое между минимальной и максимальной урожайностью в опыте. Наибольшая гибкость генотипа установлена у образцов к-3969 0122 (517), к-15340 Уран (509), к-3967 0144 (504), для которых характерно формирование высокой урожайности как в засушливый (2022 г.), так и во влажные (2023-2024 гг.) периоды вегетации.

Таблица 2 – Результаты дисперсионного двухфакторного анализа по влиянию изучаемых факторов на урожайность коллекционных образцов овса пленчатого (2022–2024 гг.) /

Table 2 – Results of a two-factor analysis of variance on the influence of the studied factors on the yield of collection samples of filmy oats (2022–2024)

<i>Источник варьирования / The source of variation</i>	<i>Сумма квадратов / SS</i>	<i>Степень свободы / DF</i>	<i>Средний квадрат / MS</i>	F_{ϕ}	F_{05}	<i>Доля влияния фактора, % / The share of the factor's influence</i>
Общее / General	2637201,3	152	-	-	-	-
Блоки / Blocks	8,94	2	4,47	1,21	-	-
Варианты / Variants	2636824,0	50	52736,5	14318,6*	3,1	-
Фактор А (год) / Factor A (year)	1583681,4	2	791840,7	32,2*	19,5	60,1
Фактор В (сорт) / Factor B (cultivar)	265736,4	15	116608,5	0,68	2,07	10,08
Взаимодействие А×В / The A×B interaction	787406,2	32	24606,4	6680,9*	1,69	29,9
Остаток / Remains	368,3	100	3,68	-	-	-

* Значимо на 5%-м уровне / * Significantly at the 5% level

Таблица 3 – Показатели стрессоустойчивости коллекционных образцов овса пленчатого (2022–2024 гг.) /

Table 3 – Stress resistance indicators of collection samples of filmy oats (2022–2024)

<i>Номер в каталоге ВИР / The number in the VIR catalog</i>	<i>Образец / Sample</i>	Y_1 (max)	Y_2 (min)	$Y_2 - Y_1$	$(Y_1 + Y_2)/2$
к-15291	‘HETMAN’	600	365	-235	483
к-15429	‘CWAL’	628	373	-255	501
к-15495	Всадник / ‘Vsadnik’	529	435	-94	482
к-15496	Стиплер / ‘Stipler’	602	318	-284	460
к-15498	Уралец / ‘Uralets’	537	341	-196	439
к-15419	‘KREZUS’	642	324	-318	483
к-15468	‘Poseidon’	643	342	-301	493
к-15473	‘Ozon’	634	331	-303	483
к-3960	0131	621	350	-271	486
к-3969	0122	653	380	-273	517
к-4103	OT 53-4	676	321	-355	499
к-15472	‘Symphony’	682	270	-412	476
к-15340	Уран / ‘Uran’	657	361	-296	509
к-3967	0144	591	416	-175	504
к-3951	0146	651	328	-323	490
-	Архан, ст. / ‘Arkhan’, st.	593	321	-272	457

Примечания: Y_1 – максимальная урожайность, Y_2 – минимальная урожайность, $Y_2 - Y_1$ – стрессоустойчивость, $(Y_1 + Y_2)/2$ – гибкость генотипа /

Notes: Y_1 – maximum yield, Y_2 – minimum yield, $Y_2 - Y_1$ – stress resistance, $(Y_1 + Y_2)/2$ – genotype flexibility

Для полной характеристики исследуемых образцов овса провели расчет показателей адаптивности (табл. 4).

Коэффициент вариации урожайности (CV) указывает на фенотипическую изменчивость признака при различных условиях окру-

жающей среды. Варьирование урожайности образцов овса в наших исследованиях по годам находилось в пределах от 8,13 до 34,3 %. Наименьшая изменчивость отмечена у образцов к-15495 Всадник (8,13 %), к-3967 0144 (15,3 %), к-15498 Уралец (18,4 %).

Таблица 4 – Показатели адаптивности коллекционных образцов овса пленчатого (2022–2024 гг.) / Table 4 – Indicators of adaptability of collection samples of filmy oats (2022–2024)

Номер в каталоге ВИР / The number in the VIR catalog	Образец / Sample	CV, %	OAC _i / TAC _i	σ^2_{CACi}	S _{gi} , %	СЦГ _i / BVG _i	K _{gi}	b _i	SF
к-15291	‘HETMAN’	19,7	-12	117,1	24,0	266,4	0,45	0,71	1,64
к-15429	‘CWAL’	20,9	24	133,2	25,4	271,9	0,58	0,92	1,68
к-15495	Всадник / ‘Vsadnik’	8,13	-11	47,9	9,8	398,6	0,08	0,33	1,22
к-15496	Стиплер / ‘Stipler’	24,9	-20	145,5	30,3	204,6	0,70	0,97	1,89
к-15498	Уралец / ‘Uralets’	18,4	-44	101,8	22,3	263,7	0,34	0,77	1,57
к-15419	‘KREZUS’	27,0	-19	158,2	32,9	181,2	0,82	1,13	1,98
к-15468	‘Poseidon’	24,6	5	151,2	29,9	218,4	0,75	1,13	1,88
к-15473	‘Ozon’	25,2	-1	153,5	30,7	208,5	0,77	1,15	1,92
к-3960	0131	25,2	-5	135,8	27,4	238,3	0,61	1,01	1,77
к-3969	0122	21,5	39	141,1	26,2	271,5	0,65	1,07	1,72
к-4103	OT 53-4	31,5	-27	182,0	38,4	128,5	1,09	1,17	2,11
к-15472	‘Symphony’	34,3	8	212,8	41,8	105,4	1,48	1,60	2,53
к-15340	Уран / ‘Uran’	23,9	41	157,2	29,1	243,0	0,81	1,19	1,82
к-3967	0144	15,3	31	98,8	18,6	343,8	0,32	0,74	1,42
к-3951	0146	26,5	14	166,2	32,3	199,1	0,91	1,25	1,98
-	Архан, ст. / ‘Arkhan’, st.	24,1	-21	140,6	29,3	212,9	0,65	1,06	1,85

Примечания: CV – коэффициент вариации; OAC_i – общая адаптивная способность; σ^2_{CACi} – показатель вариации специфической адаптивной способности; S_{gi} – относительная стабильность генотипа; СЦГ_i – селекционная ценность генотипа; K_{gi} – коэффициент компенсации; b_i – коэффициент линейной регрессии; SF – фактор стабильности /

Notes: CV – the coefficient of variation; TAC_i – the total adaptive capacity; σ^2_{CACi} – an indicator of the variation of a specific adaptive capacity; S_{gi} – the relative stability of the genotype; BVG_i – the breeding value of the genotype; K_{gi} – the compensation coefficient; b_i – the coefficient of linear regression; SF – the stability factor

Общая адаптивная способность (OAC_i) отражает среднее значение признака в разнообразных условиях среды. Этот показатель применяли для выделения генотипов, гарантирующих максимальную среднюю урожайность во всей совокупности сред. OAC_i в наших исследованиях варьировала от +41 до -44. Наибольшее значение отмечено у образцов к-15340 Уран (41), к-3969 0122 (39), к-3967 0144 (31).

В качестве меры стабильности использовали показатель вариации специфической адаптивной способности (σ^2_{CACi}), который отображает отклонение от OAC_i в определенной среде. В нашем опыте с наибольшей стабильностью выделены образцы к-15495 Всадник, к-3967 0144, к-15498 Уралец (47,9; 98,8 и 101,8 соответственно), а с наименьшей – образец к-15472 Symphony (212,8), у которого отмечен самый высокий коэффициент вариации урожайности (CV = 34,3 %).

Показатель относительной стабильности генотипа (S_{gi}) используют в селекции для отбора стабильных форм, так как он наследуется. Наибольший S_{gi} генотипа отмечен у образцов к-15495 Всадник, к-3967 0144, к-15498 Уралец (9,8; 18,6; 22,3 % соответственно).

Показатель селекционной ценности генотипа (СЦГ_i) использовали для одновременного отбора генотипов по продуктивности и средовой устойчивости. Селекционная ценность генотипа позволяет выявить адаптивную способность образцов и их стабильность в различных условиях среды. В нашем опыте выделены образцы, которые сочетали высокую урожайность со стабильностью – к-15495 Всадник, к-3967 0144 (398,6–343,8).

Коэффициент компенсации (K_{gi}) в селекции выявляет относительный вклад генотипа и среды в вариацию взаимодействия. При отборе стабильных генотипов следует отдавать предпочтение генотипам с K_{gi} меньше или равным 1.

По данному показателю наиболее стабильными были образцы к-15495 Всадник (0,08), к-3967 0144 (0,32), к-15498 Уралец (0,34).

Для определения экологической пластичности образцов овса использовали коэффициент линейной регрессии (b_i), который отражает реакцию сорта на изменение условий выращивания, в опыте b_i варьировал от 0,33 до 1,60. Образцы разделяли на категории: слабо отзывчивые ($b_i < 1$); наиболее отзывчивые ($b_i > 1$). Образцы к-15495 Всадник, к-3967 0144, к-15291 НЕТМАН, к-15498 Уралец, к-15429 CWAL, к-15496 Стиплер ($b_i - 0,33-0,97$) слабо реагировали на изменения условий среды и отнесены к экстенсивному типу. Образцы к-15419 KREZUS, к-15468 Poseidon, к-15473 Ozon, к-4103 OT 53-4, к-15340 Уран, к-3951 0146, к-15472 Symphony ($b_i - 1,13-1,60$) вошли в категорию наиболее отзывчивых (интен-

сивный тип), которым для формирования высокой урожайности необходимы наилучшие условия среды.

Чем меньше отклонение показателей фактора стабильности (SF) от единицы, тем сорт более стабилен и его адаптивная способность выше. Максимально высокую стабильность (SF) выявили у образцов к-15495 Всадник (1,22), к-3967 0144 (1,42), к-15498 Уралец (1,57).

По результатам корреляционного анализа (табл. 5) выявлена очень сильная положительная зависимость между урожайностью и OAC_i (1,0); CV и σ^2_{CACi} (0,98), S_{gi} (0,99), K_{gi} (0,95), b_i (0,93), SF (0,97); σ^2_{CACi} и S_{gi} (0,98), K_{gi} (0,98), b_i (0,97), SF (0,97); S_{gi} и K_{gi} (0,96), b_i (0,94), SF (0,98); K_{gi} и b_i (0,95), SF (0,98); b_i и SF (0,94), следовательно параметры адаптивности свидетельствуют о стабильности образцов овса.

Таблица 5 – Корреляционная взаимосвязь урожайности коллекционных образцов овса пленчатого с параметрами адаптивности (2022–2024 гг.) /

Table 5 – Correlation between the yield of collection samples of filmy oats and the parameters of adaptivity (2022–2024)

Параметр / Parameters	Урожайность / Yield	CV	OAC_i / TAC_i	σ^2_{CACi}	S_{gi}	$СЦГ_i / BVG_i$	K_{gi}	b_i	SF
Урожайность / Yield	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
CV	-0,06	1,0	-	-	-	-	-	-	-
OAC_i	1,0	-0,06	1,0	-	-	-	-	-	-
σ^2_{CACi}	0,12	0,98	0,12	1,0	-	-	-	-	-
S_{gi}	-0,05	0,99	-0,05	0,98	1,0	-	-	-	-
$СЦГ_i$	0,22	-0,98	0,22	-0,94	-0,98	1,0	-	-	-
K_{gi}	0,10	0,95	0,10	0,98	0,96	-0,92	1,0	-	-
b_i	0,22	0,93	0,22	0,97	0,94	-0,88	0,95	1,0	-
SF	-0,04	0,97	-0,04	0,97	0,98	-0,96	0,98	0,94	1,0

Примечания: CV – коэффициент вариации; OAC_i – общая адаптивная способность; σ^2_{CACi} – показатель вариации специфической адаптивной способности; S_{gi} – относительная стабильность генотипа; $СЦГ_i$ – селекционная ценность генотипа; K_{gi} – коэффициент компенсации; b_i – коэффициент линейной регрессии; SF – фактор стабильности /

Notes: CV – the coefficient of variation; TAC_i – the total adaptive capacity; σ^2_{CACi} – an indicator of the variation of a specific adaptive capacity; S_{gi} – the relative stability of the genotype; BVG_i – the breeding value of the genotype; K_{gi} – the compensation coefficient; b_i – the coefficient of linear regression; SF – the stability factor

Очень сильную отрицательную корреляционную зависимость наблюдали между показателями $СЦГ_i$ и CV (-0,98), σ^2_{CACi} (-0,94), S_{gi} (-0,98), K_{gi} (-0,92), b_i (-0,88), SF (-0,96). Это дало возможность выделить как стабильные, так и пластичные образцы, которые будут использованы в селекционной работе в качестве исходного материала при создании новых адаптивных сортов.

После изучения всех параметров мы использовали метод ранжирования, который информирует об уровне адаптивности данных образцов.

Образцы к-3967 0144, к-15495 Всадник и к-15429 CWAL, к-15498 Уралец имели наименьшую сумму рангов (30–52). Это говорит о том, что исследуемые образцы были наиболее адаптивными и устойчивыми по показателю «урожайность» в изменяющихся условиях среды (табл. 6).

Таблица 6 – Ранжирование образцов овса пленчатого по адаптивной способности (2022–2024 гг.) / Table 6 – Ranking of filmy oat samples by adaptive capacity (2022–2024)

Номер в каталоге ВИР / The number in the VIR catalog	Образец / Sample	CV, %	OAC _i /TAC _i	$\sigma^2_{CAC_i}$	S _{gi} , %	СЦГ _i /BVG _i	K _{gi}	b _i	SF	Y ₂ -Y ₁	Сумма рангов / The sum of the ranks	Место сорта / The place of the cultivar
к-15291	‘HETMAN’	4	11	4	4	5	4	14	4	4	54	5
к-15429	‘CWAL’	5	4	5	5	3	5	11	5	5	48	3
к-15495	Всадник / ‘Vsadnik’	1	10	1	1	1	1	15	1	1	32	2
к-15496	Стиплер / ‘Stipler’	10	13	9	11	12	8	10	11	9	93	11
к-15498	Уралец / ‘Uralets’	3	16	3	3	6	3	12	3	3	52	4
к-15419	‘KREZUS’	13	12	13	14	14	12	6	13	13	110	13
к-15468	‘Poseidon’	9	7	9	10	9	9	6	10	11	80	9
к-15473	‘Ozon’	11	8	11	12	11	10	5	12	12	92	10
к-3960	0131	11	9	6	7	8	6	9	7	6	69	7
к-3969	0122	6	2	8	6	4	7	7	6	8	54	5
к-4103	OT 53-4	14	15	15	15	15	14	4	14	15	121	15
к-15472	‘Symphony’	15	6	16	16	16	15	1	15	16	116	14
к-15340	Уран / ‘Uran’	7	1	12	8	7	11	3	8	10	67	6
к-3967	0144	2	3	2	2	2	2	13	2	2	30	1
к-3951	0146	12	5	14	13	13	13	2	13	14	99	12
-	Архан, ст. / ‘Arkhan’, st.	8	14	7	9	10	7	8	9	7	79	8

Заключение. В условиях Кировской области (Волго-Вятский регион) в среднем за годы исследований (2022–2024) высокую урожайность в сравнении со стандартным сортом Архан (479 г/м²) сформировали образцы овса пленчатого к-15429 CWAL, к-15495 Всадник, к-15496 Стиплер, к-15419 KREZUS, к-15468 Poseidon, к-15473 Ozon, к-3960 0131, к-3969 0122, к-15472 Symphony, к-15340 Уран, к-3967 0144, к-3951 0146 – 524 г/м², 489, 480, 481, 505, 499, 496, 539, 509, 541, 531, 514 г/м² соответственно. Статистически значимую прибавку урожайности к стандарту в отдельные

годы испытаний обеспечили образцы к-15429 CWAL, к-3969 0122, к-15340 Уран, к-3967 0144, к-15291 HETMAN, к-15495 Всадник. В результате ранговой оценки образцов по параметрам стрессоустойчивости и адаптивности по сумме рангов (30–52) выделены к-3967 0144 (США); к-15495 Всадник, к-15498 Уралец (Россия); к-15429 CWAL (Польша), которые проявили себя как наиболее устойчивые к абиотическим условиям Волго-Вятского региона по признаку «урожайность» и будут использованы в дальнейшей селекционной работе.

Список литературы

1. Зобнина И. В., Корелина В. А., Батакова О. Б. Направления и краткие итоги изучения коллекции овса посевного ярового в условиях Северного региона. Аграрный научный журнал. 2022;(4):18–22. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp18-22> EDN: JGYPNL
2. Тулякова М. В., Баталова Г. А., Салтыков С. С., Пермякова С. В. Оценка параметров адаптивности коллекционных сортообразцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области. Зерновое хозяйство России. 2024;16(2):49–55. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-91-2-49-55> EDN: MITZMY
3. Юсова О. А., Николаев П. Н., Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):42–49. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-42-49> EDN: KAWUZR

4. Баталова Г. А., Тулякова М. В., Жуйкова О. А. Адаптивный потенциал перспективных линий и сортов пленчатого овса селекции Федерального научного центра Северо-Востока. Российская сельскохозяйственная наука. 2020;(2):3–6. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-2-3-6> EDN: DAEXSJ
5. Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Газе В. Л. Изменение механизмов адаптивности и урожайности сортов озимой мягкой пшеницы в засушливых условиях по этапам сортосмены. Зерновое хозяйство России. 2021;1(1):3–7. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-3-7> EDN: MXNWTK
6. Трушко А. А., Власов А. Г., Халецкий С. П. Оценка урожайности и адаптивных свойств сортообразцов овса в конкурсном сортоиспытании. Земледелие и селекция в Беларуси. 2023;(59):261–267. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59460759> EDN: ZDUOQO
7. Сорокина А. В., Трифонова Л. И., Литвинчук О. В. Скрининг коллекционных образцов овса в условиях таежной зоны Томской области. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(2):15–18. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10203> EDN: FRZFBF
8. Баталова Г. А., Еремина А. А., Кротова Н. В., Вологжанина Е. Н., Жуйкова О. А. Характеристика адаптивного потенциала сортов овса пленчатого по результатам государственного испытания в Костромской области. Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2019;5(3):281–289. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-3-281-288> EDN: DTPWPT
9. Вологжанина Е. Н., Баталова Г. А. Урожайность и адаптивные свойства сортов пленчатого овса в Волго-Вятском регионе. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019;(3(173)):31–36. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39413072> EDN: IHVLJR
10. Еремин Д. И., Любимова А. В., Еремина Д. В. Оценка засухоустойчивости и индексный скрининг сортов овса отечественной селекции. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023;(6):46–54. DOI: <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/6/46-54> EDN: WRTJFS
11. Юсова О. А., Николаев П. Н., Сафронова И. В., Аниськов Н. И. Анализ сортов овса омской селекции по сбору белка с единицы площади. Аграрный вестник Урала. 2020;6(197):38–48. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-197-6-38-48> EDN: LVELGY

References

1. Zobnina I. V., Korelina V. A., Batakova O. B. Directions and brief results of spring oat breeding in the conditions of the Northern region. *Agrarny nauchny zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2022;(4):18–22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp18-22>
2. Tulyakova M. V., Batalova G. A., Saltykov S. S., Permyakova S. V. Estimation of adaptability parameters of collection hulled oats varieties according to productivity in the Kirov region. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2024;16(2):49–55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-91-2-49-55>
3. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Safonova I. V., Aniskov N. I. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):42–49. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-42-49>
4. Batalova G. A., Tulyakova M. V., Zhuykova O. A. Adaptive potential of perspective lines and cultivars of covered oat bred in FASC of North-East. *Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka*. 2020;(2):3–6. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-2-3-6>
5. Ionova E. V., Likhovidova V. A., Gaze V. L. The changes of adaptability and productivity of the winter bread wheat varieties in arid conditions according to the stages of variety changing. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2021;1(1):3–7. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-3-7>
6. Trushko A. A., Vlasov A. G., Khaletsky S. P. Evaluation of the yield and adaptable traits of oats varieties in competitive variety testing. *Zemledelie i selektsiya v Belarusi* = Arable Farming and Plant Breeding in Belarus. 2023;(59):261–267. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59460759>
7. Sorokina A. V., Trifonova L. I., Litvinchuk O. V. Screening of oat collection samples in the taiga zone of the Tomsk region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(2):15–18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10203>
8. Batalova G. A., Eremina A. A., Krotova N. V., Vologzhanina E. N., Zhuykova O. A. Characteristics of the adaptive potential of covered oats varieties based on the results of state testing in the Kostroma region. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Selskokhozyaystvennie nauki. Ekonomicheskie nauki* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2019;5(3):281–289. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-3-281-288>
9. Vologzhanina E. N., Batalova G. A. Yielding capacity and adaptive properties of chaffy oat varieties in the Volga-Vyatka region. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019;(3(173)):31–36. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39413072>

10. Eremin D. I., Lyubimova A. V., Eremina D. V. Drought resistance and index screening of domestic selection oat varieties. *Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2023;(6):46–54. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/6/46-54>

11. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Safronova I. V., Aniskov N. I. Analysis of oats varieties of omsk selection for the collection of protein per unit area. *Agrarny vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2020;6(197):38–48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-197-6-38-48>

Сведения об авторах

✉ **Салтыков Сергей Сергеевич**, младший научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д.3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2371-0617>, e-mail: sergei3221@outlook.com

Тулякова Марина Валентиновна, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией селекции и первичного семеноводства овса, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4493-1005>

Баталова Галина Аркадьевна, доктор с.-х. наук, академик РАН, заведующая отделом селекции овса, заместитель директора по селекционной работе, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3491-499X>

Пермякова Светлана Владимировна, младший научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9595-1129>

Information about the authors

✉ **Sergey S. Saltykov**, junior researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2371-0617>, e-mail: sergei3221@outlook.com

Marina V. Tulyakova, senior researcher, Head of the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Oats, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4493-1005>

Galina A. Batalova, DSc in Agricultural Science, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Oat Breeding, Deputy Director for Breeding Work, 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: <https://orcid.org/0000-0002-3491-499X>

Svetlana V. Permyakova, junior researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9595-1129>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Кластерная оценка коллекционных плёнчатых образцов овса посевного в условиях Северного региона

© 2025. И. В. Зобнина✉, В. А. Корелина, О. Б. Батакова, А. Н. Носков
ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Российская Федерация

Современная селекция ярового овса направлена на реализацию потенциала продуктивности сорта в различных условиях окружающей среды. Цель исследований – изучить в коллекционном питомнике 19 плёнчатых образцов овса посевного и выделить методами кластерного и корреляционного анализов генотипы с ценными хозяйственно-биологическими признаками. Исследования проводили в условиях Архангельской области (Северный регион) в 2022–2024 гг. при различных метеорологических условиях периодов вегетации (гидротермический коэффициент – 1,1...1,7). Образцы из коллекции ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова оценивали по 6 признакам (урожайность зерна, продолжительность периода «всходы – восковая спелость», продуктивная кустистость, масса зерна с метелки, число зерен в метелке, масса 1000 зерен), значения которых вводили в программу кластерного анализа. Выявлена нестабильность распределения образцов овса по кластерам в разные годы исследований, за исключением стандартного сорта Архан (I кластер). Наибольший интерес для использования в качестве источников хозяйственно ценных признаков представляют плёнчатые образцы овса, вошедшие в I-II кластеры, по массе 1000 зёрен (37,4–42,7 г): URS CORONA, URS GUAPA, URS BRAVA, URS CHARRUA, стандарт Архан; по озернёности метёлки (64,1–76,5 шт.): UFRGS 21, UFRGS 02 6017-1, UFRGS 17, стандарт Архан; по скороспелости (74–76 дней): Скороспелый 1, Скороспелый 2, URS GURIA, URS TORENA, URS GUAPA, URS CHARRUA, UFRGS 03 7034-1. Выявлены корреляционные зависимости признака «число зёрен с метёлки» с массой зерна с метелки ($r = 0,91, p \geq 0,001$) и урожайностью ($r = 0,45, p \geq 0,05$).

Ключевые слова: *Avena sativa* subsp. *sativa* L., урожайность, масса метелки, масса зерна с метелки, масса 1000 зёрен

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук (тема FUUW-2024-0004, № 124022800234-0).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной статьи.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Зобнина И. В., Корелина В. А., Батакова О. Б., Носков А. Н. Кластерная оценка коллекционных плёнчатых образцов овса посевного в условиях Северного региона. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025;26(6):1206–1217. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1206-1217>

Поступила: 26.05.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025.

Cluster assessment of collection filmy samples of oats in the Northern region

© 2025. Irina V. Zobnina✉, Valentina A. Korelina, Olga B. Batakova, Alexey N. Noskov

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russian Federation

Modern breeding of spring oats is aimed at realizing the productivity potential of the cultivar in various environmental conditions. The purpose of the research is to study 19 hulled samples of oats in a collection nursery and use cluster and correlation analysis to identify genotypes with valuable economic and biological characteristics. The studies were conducted in the Arkhangelsk Region (Northern Region) in 2022–2024 under various meteorological conditions during the vegetation periods (hydrothermal coefficient – 1.1...1.7). Samples from the collection of the Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov were evaluated according to 6 characteristics (grain yield, duration of the "germination-wax ripening" period, productive bushiness, grain weight per panicle, number of grains per panicle, and weight of 1000 grains), which were entered into the cluster analysis program. The distribution of oat samples by clusters was unstable in different years of the research with the exception of the standard cultivar 'Arkhan' (I cluster). Filmy oat samples included in clusters I-II are of the greatest interest for use as sources of agronomic traits according to the mass of 1000 grains (37.4–42.7 g): URS CORONA, URS GUAPA, URS BRAVA, URS CHARRUA, 'Arkhan' standard; according to the lacustrine content (64.1–76.5 pcs.): UFRGS 21, UFRGS 02 6017-1, UFRGS 17, 'Arhan' standard; by precocity (74–76 days): 'Skorospely 1', 'Skorospely 2', URS GURIA, URS TORENA, URS GUAPA, URS CHARRUA, UFRGS 03 7034-1. Correlations between the number of grains per panicle and grain weight ($r = 0.91, p \geq 0.001$) and yield ($r = 0.45, p \geq 0.05$) have been established.

Keywords: *Avena sativa* subsp. *sativa* L., yield, mass of panicle, mass of grain per panicle, mass of 1000 grains

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 N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (subject FUUW-2024-0004, No. 124022800234-0).

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

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

For citation: Zobnina I. V., Korelina V. A., Batakova O. B., Noskov A. N. Cluster assessment of collection filmy samples of oats in the Northern region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1206–1217. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1206-1217>

Received: 26.05.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

Published online: 26.12.2025

Овёс яровой – ценная зерновая и кормовая культура для условий южной части Северного региона РФ [1]. Благодаря высокой биологической пластичности овёс является базовой культурой для одновидовых, смешанных и совместных посевов однолетних трав на зерно, сенаж, силос, сено и другие виды корма [2]. При раннем укосе зеленая масса овса быстро отрастает и служит дополнительным источником корма для выпаса животных, а при большом количестве осадков и продолжительном тёплом периоде вегетации пригодна для 3-4-кратного стравливания [3]. Зерно овса – это важнейший источник растительного белка, жира и крахмала [4]. Однако многочисленные научные исследования указывают на низкую степень реализации генетического потенциала продуктивности этой важной сельскохозяйственной культуры – главного залога повышения урожайности и улучшения качества зерна овса [5, 6, 7]. Это говорит о том, что никакие новейшие технологии возделывания не могут гарантировать получение высокого урожая зерна, не опираясь на правильно подобранный сорт для конкретных климатических и почвенных условий. Учёные-селекционеры утверждают, что при работе с коллекцией растений важно исследовать большое число образцов по широкому спектру признаков разного качества [8, 9]. Для подбора генетически разных родительских форм и получения желаемых в селекции комбинаций источников могут быть использованы методы кластерного анализа [10]. По мнению селекционеров зерновых культур, изучение исходного материала коллекции ВИР необходимо проводить в течение 3–5 лет, тем не менее сорта, оказавшиеся явно не перспективными по результатам испытания первого года, часто отбраковывают и исключают из дальнейших исследований. При изучении сортообразцов овса учитывают, прежде всего, скороспелость, продуктивность метелки, устойчивость к полеганию, засухоустойчивость и другие признаки [11, 12]. В настоящее время в селекции многих сельскохозяйственных культур широко приме-

няется кластерный анализ, который позволяет проводить объективную оценку исходного материала, способствует выявлению источников необходимых признаков и закономерностей в процессе создания новых гибридов или сортов [12, 13, 14, 15].

Цель исследований – изучить коллекционные плёнчатые образцы овса посевного и выделить методами кластерного и корреляционного анализов генотипы с ценными хозяйственно-биологическими признаками.

Научная новизна – методами кластерного и корреляционного анализов выявлены ценные родительские формы для селекционных программ по созданию плёнчатых сортов овса.

Материал и методы. Коллекционный питомник овса посевного (*Avena sativa* L.) закладывали в 2022–2024 гг. в Архангельской области на базе опытной станции «Котласская» и лаборатории растениеводства Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук.

Объекты исследования – 19 плёнчатых образцов овса посевного (*A. sativa* subsp. *sativa* L.) из коллекции ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), выделенных в условиях Северо-Запада РФ в качестве источников скороспелости и нейтрального фотопериода. Сортообразцы представлены 17 генотипами из Бразилии и 2 – из Ленинградской области. Стандартом служил сорт Архан.

Полевые, лабораторные исследования и наблюдения проводили по общепринятым методикам^{1,2,3}. Почва опытного участка дерново-подзолистая, по гранулометрическому составу – среднесуглинистая, среднеокультуренная (рН_{сол.} – 6,2; гидролитическая кислотность – 1,43 мг-экв/100 г почвы; содержание органического вещества – 3,45 %, подвижных форм фосфора – 300 мг/кг почвы, обменных форм калия – 374 мг/кг почвы).

¹Лоскутов И. Г., Ковалева О. Н., Блинова Е. В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР, 2012. 63 с.

²Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Общая часть. Под ред. М. А. Федина. М.: Колос, 1985. Вып 1. 269 с.

³Международный классификатор СЭВ рода *Avena* L. The international comecon list of descriptors for the genus *Avena* L. Науч.-техн. совет стран- членов СЭВ по коллекциям диких и культ. видов растений и др. Л.: ВИР, 1984. 41 с.

Технология возделывания овса ярового типичная для Северного региона⁴. Химические средства защиты от болезней и вредителей не использовали. Предшественник – вика с овсом на зеленый корм. Весной под культивацию вносили минеральное удобрение – нитроаммофоска (16:16:16) в дозе 2 ц/га.

Закладка коллекционного питомника проведена вручную, посев – в 3-кратной повторности. Площадь делянки – 1 м². Для обработки от сорной растительности в фазу кушения проведена химическая обработка баковой смесью гербицидами Магnum (в дозе 5,0 г/га) + Балерина (в дозе 0,25 л/га). В фазу полного созревания сортообразцы убраны вручную. Полученные в процессе исследований результаты обрабатывали дисперсионным и корреляционным методами⁵ с использованием пакета компьютерных программ AGROS v. 2.07 и STATGRAPHICS for Windows v. 5.1⁶. Кластерный анализ для группирования селекционных образцов по шести хозяйственно ценным признакам (урожайность зерна, продолжительность периода «всходы – восковая спелость», продуктивная кустистость, масса зерна с метелки, число зерен в метелке, масса 1000 зерен) проводили с использо-

ванием евклидовых расстояний в программе STATISTICA 10. Хозяйственно ценные признаки зерна определяли по Государственным стандартам: масса 1000 зерен – ГОСТ 12042-80⁷, агрохимические показатели почвы – ГОСТ Р 54650-2011⁸, ГОСТ 26213-91⁹, ГОСТ 26483-85¹⁰. Гидротермический коэффициент (ГТК) определяли согласно методике Г. Т. Селянинова¹¹. Агрометеорологические наблюдения вегетационных периодов представлены в соответствии с показателями агрометеопоста, расположенного на расстоянии 1,7 км от опытного участка.

Результаты и их обсуждение. В годы проведения эксперимента (2022–2024 гг.) метеорологические условия различались по температуре и количеству выпавших осадков (табл. 1). По годам изучения величина ГТК варьировала от 1,1–1,3 до 1,7, от обеспеченного до избыточного увлажнения. Сумма эффективных температур за период с мая по август отличалась незначительно и составила 1266–1296 °С, что соответствовало биологическим требованиям культуры. По всем изучаемым годам сумма эффективных температур была выше средне-многолетних данных на 199–229 °С.

Таблица 1 – Агрометеорологические условия периода вегетации овса ярового за годы проведения исследований / Table 1 – Agrometeorological conditions of the growing season of spring oats over the years of the research

<i>Показатель / Indicator</i>	<i>2022 г.</i>	<i>2023 г.</i>	<i>2024 г.</i>	<i>Среднее за 2022–2024 гг. / Average for 2022–2024</i>	<i>Среднее многолетнее / Long-term average annual</i>
Сумма эффективных температур, °С / The sum of effective temperatures, °С	1296	1266	1274	1279	1067
Средняя температура воздуха в вегетационный период, °С / Average air temperature during the growing season, °С	17,9	16,6	14,6	17,3	13,5
Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm	270	270	271	293	246,8
Гидротермический коэффициент / Hydrothermal coefficient	1,7	1,3	1,1	1,4	1,7

⁴Комарова Г. Н. Технология возделывания овса на зерно в экстремальных условиях севера Томской области: рекомендации. РАСХН, Сиб. Отд.-ние. СибНИИСХиТ. Томск, 2007. 11 с. URL: https://sibniit.tomsknet.ru/files/articles/technology_oat.pdf

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

⁶Программа StatSoft STATISTICA 10.0.1011 Eneterpise (x86/x64), 2021.

⁷ГОСТ Р 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2005. 22 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/4709>

⁸ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf>

⁹ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

¹⁰ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО.

М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

¹¹Селянинов Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата. М.: Гидрометеоиздат, 1977. 220 с.

Достаточно благоприятные метеорологические условия сложились в 2022 г. Выпавшие осадки в третьей декаде мая, первой декаде июня и во второй декаде июля были кратковременные и обильные, что способствовало повышению продуктивной влаги в почве до хорошей степени увлажнённости. Растения овса, получающие достаточное количество влаги, были более устойчивы к засухе и другим стрессовым условиям, что также повлияло на их выносливость к болезням и вредителям. В целом, такие погодные условия положительно сказались на развитии растений и способствовали получению хорошего урожая зерна.

Сложившиеся погодные условия 2023 г. оказались умеренно благоприятными для развития овса ярового. Начало периода вегетации отличалось оптимальным сочетанием по увлажнению и температурному режиму, что положительно повлияло на развитие растений. Дефицит влаги наблюдали в первой – второй декадах июля (фазы цветения и полной спелости) и во второй – третьей декадах августа.

Агроклиматические условия 2024 г. по-разному складывались по декадам и месяцам, по отдельным периодам характеризовались как неблагоприятные для роста и развития овса ярового – культуры, наиболее требовательной к влаге. Высокие температуры воздуха

и значительный недостаток влаги в третьей декаде июня негативно сказались в июле (в период «выход в трубку – вымётывание») на росте и развитии овса. В таких сложившихся погодных условиях растения овса не смогли реализовать свой биологический потенциал, что привело к ухудшению налива зерна и недобору урожая.

В своей работе селекционер часто сталкивается с большим объемом материала по целому набору разных по своей природе признаков, который необходимо каким-либо образом систематизировать для выделения лучших форм по комплексу хозяйственно ценных признаков, что достигается с помощью кластерного анализа¹².

Статистическая обработка хозяйственно ценных параметров сортообразцов плёнчатого овса ярового позволила выявить достоверные различия между кластерами (табл. 2). Основной критерий оценки сортов – урожайность.

После статистической обработки данных изучаемых образцов овса кластерным анализом установлено, что в данной генеральной совокупности выделяются три хорошо различимых кластера. Для наглядной иллюстрации результатов кластеризации представлена дендрограмма (древовидная диаграмма), на которой графически изображена иерархическая структура этой комбинации (рис. 1).

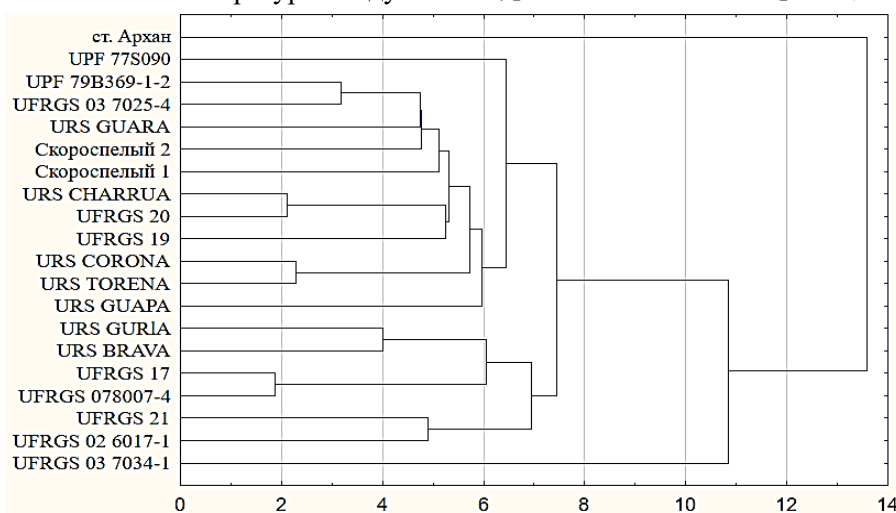


Рис. 1. Дендрограмма кластеризации плёнчатых образцов в коллекционном питомнике овса посевного (2022 г.) /

Fig. 1. Dendrogram of filmy samples clustering in the collection nursery of cultivated oats (2022)

Для образцов, выделенных в кластеры, характерен схожий набор признаков внутри кластера и достоверные различия с другими кластерами.

Сорт-стандарт Архан относится к первому кластеру по следующим максимальным

показателям: урожайность зерна – 720 г/м²; продолжительность периода «всходы – восковая спелость» – 6 дней; масса зерна с метёлки – 3,0 г; число зерен в метёлке – 74,9 шт.; масса 1000 зёрен – 37,6 г.

¹²Мандель И. Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.

Таблица 2 – Характеристики пленчатых образцов овса посевого по ценным хозяйственно биологическим признакам по дендрограмме (2022 г.) /
Table 2 – Characteristics of filmy samples of cultivated oats by valuable economic and biological traits according to the dendrogram (2022)

Номер по каталогу ВИР / VIR catalog number	Образец / Sample	Урожайность зерна, г/м ² / Yield of grain, g/m ²	Продолжительность периода «всходы-восковая спелость», дни / Duration of the "shoots-wax ripeness" period, days	Продуктивная кустистость, шт. / Productive bushiness, pcs.	Масса зерна с метёлки, г / Grain weight per panicle, g	Число зёрен в метёлке, шт. / Number of grains in a panicle, pcs.	Масса 1000 зёрен, г / Weight of 1000 grains, g
-	ст. Архан / st. 'Arhan'	720	76	2,5	3,0	74,9	37,6
I кластер / I cluster							
к-14009	UPF 77S090	330	78	2,5	1,27	38,2	31,3
к-14010	UPF 79B369-1-2	280	76	2,5	1,02	27,3	35,5
к-15733	UFRGS 03 7025-4	460	79	2,3	0,99	26,3	35,3
к-15482	URS GUARA	460	76	3,9	1,28	31,8	35,9
к-15548	Скороспелый 2 / 'Skorospely 2'	260	72	2,3	0,87	28,3	37,9
к-15547	Скороспелый 1 / 'Skorospely 1'	440	72	3,0	1,21	33,2	39,1
к-15486	URS CHARRUA	490	75	3,3	1,66	39,1	37,8
к-15544	UFRGS 20	380	74	3,3	1,2	38,1	39,3
к-15543	UFRGS 19	600	76	2,5	1,62	43,2	34,8
к-15481	URS CORONA	300	76	3,0	0,92	28,5	42,5
к-15488	URS TORENA	230	74	3,0	1,03	29,4	43,1
к-15484	URS GUAPA	230	74	3,2	0,69	22,5	38,3
к-15487	URS GURIA	350	72	3,0	3,0	50,0	38,2
к-15490	URS BRAVA	630	75	2,0	1,82	48,6	39,8
к-15541	UFRGS 17	530	78	2,4	2,24	53,8	40,3
к-15599	UFRGS 078007-4	290	78	2,2	2,24	54,5	38,6
к-15545	UFRGS 21	650	75	2,0	2,04	64,0	36,9
к-15730	UFRGS 02 6017-1	380	79	2,1	2,3	61,3	37,6
II кластер / II cluster							
III кластер / III cluster							
к-15734	UFRGS 03 7034-1	70	74	2,8	0,4	14,0	31,6
	HCP ₀₅ / LSD ₀₅	170	2,19	0,51	0,81	14,7	3,28

Второй кластер объединил 18 образцов, урожайность которых варьировала от 230 до 650 г/м², продолжительность периода «всходы – восковая спелость» составила 72–79 дней, продуктивная кустистость – 2,0–3,9 шт., масса зерна с метёлки – 0,69–3,0 г, число зёрен в метёлке – 22,5–64,0 шт., масса 1000 зёрен – 31,3–43,1 г.

В третий кластер вошёл один образец UFRGS 03 7034-1 с низкими показателями: урожайность зерна – 70 г/м²; продолжительность периода «всходы – восковая спелость» – 74 дня; продуктивная кустистость – 2,8 шт.; масса зерна с метёлки – 0,4 г; число зёрен в метёлке – 14 шт.

Из дендрограммы кластеризации по хозяйственно ценным признакам выявлена наиболее близкая связь у сортообразцов UPF 79B369-1-2, UFRGS 03 7025-4, URS GUARA, Скороспелый 2, Скороспелый 1, которые имеют сходные характеристики в отношении исследованных признаков (рис. 1).

При проведении кластерного анализа пленчатых образцов овса по основным хозяйственно-биологическим признакам установлено, что при создании новых сортов в качестве исходного материала целесообразно исполь-

зовать образцы, относящиеся к первому кластеру. Данные образцы характеризуются высокими показателями, отбор по которым является наиболее предпочтительным для селекции на улучшение качественных характеристик.

Включение в селекционный процесс сортообразцов овса, вошедших во второй кластер с более низкими показателями изучаемых признаков, приведет к меньшей эффективности селекции. Отбор по третьему кластеру не осуществляется, так как образцы, относящиеся к данному кластеру, не обладают достаточной значимостью в плане исследуемого показателя, что делает их нежелательными для селекции и дальнейшего использования в создании новых сортов овса из-за низкой продуктивности и качества зерна, что не соответствует целям селекции.

Кластерный анализ сортообразцов коллекционного питомника 2023 г. по совокупности шести признаков распределил образцы на 5 кластеров (табл. 3).

На основании полученных данных построена дендрограмма кластеризации сортообразцов (рис. 2).

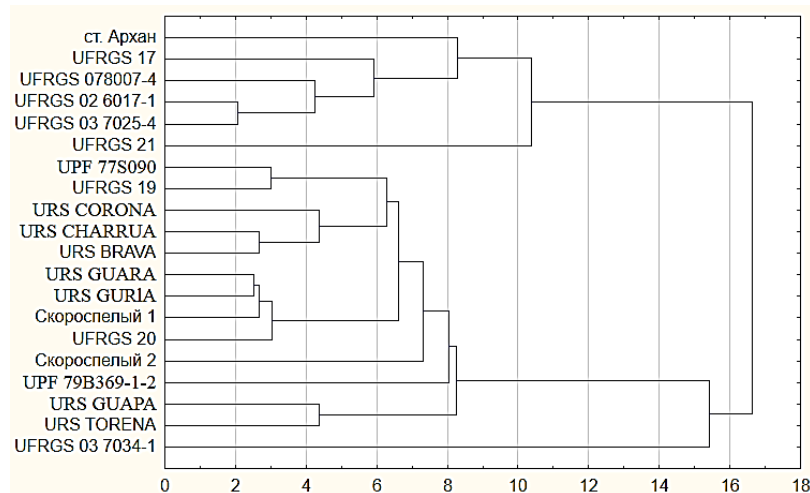


Рис. 2. Дендрограмма кластеризации пленчатых образцов в коллекционном питомнике овса посевного (2023 г.) /

Fig. 2. Dendrogram of filmy samples clustering in the collection nursery of cultivated oats (2023)

В первый кластер выделен стандартный районированный сорт овса Архан, показавший максимальные значения по отдельным параметрам: урожайность зерна – 780 г/м²; масса зерна с метёлки – 3,34 г; число зёрен в метёлке – 83,7 шт.; продолжительность периода «всходы – восковая спелость» – 78 дней; масса 1000 зёрен – 36,2 г.

Во второй кластер вошли 4 образца из Бразилии, которые характеризуются продолжительностью периода «всходы – восковая

спелость» – 77–78 дней, средней продуктивной кустистостью – 2,3–2,9 шт., числом зёрен в метёлке – 71,6–80,0 шт., массой зерна с метёлки – 2,15–2,98 г, массой 1000 зёрен – 30,4–36,0 г.

В третий кластер включен один образец UFRGS 21 с максимальным числом зёрен в метёлке – 91,6 г, продолжительностью периода «всходы – восковая спелость» – 80 дней, продуктивной кустистостью – 2,1 шт., массой 1000 зёрен – 31,8 г, массой зерна с метёлки – 2,53 г.

Таблица 3 – Характеристики пленчатых образцов овса посевного по ценным хозяйственно-биологическим признакам по дендрограмме (2023 г.) /
Table 3 – Characteristics of filmy samples of cultivated oats by valuable economic and biological characteristics according to the dendrogram (2023)

Номер по каталогу ВИР / VIR catalog number	Образец / Sample	Урожайность зерна, г/м ² / Yield of grain, g/m ²	Продолжительность периода «всходы-восковая спелость», дни / Duration of the "shoots-wax ripeness" period, days	Продуктивная кустистость, шт. / Productive bushiness, pcs.	Масса зерна с метёлки, г / Grain weight per panicle, g	Число зёрен в метёлке, шт. / Number of grains in a panicle, pcs.	Масса 1000 зёрен, г / Weight of 1000 grains, g
-	ст. Архан / st. 'Arhan'	780	78	2,8	3,34	83,7	36,2
I кластер / I cluster							
к-15541	UFRGS 17	370	78	2,9	2,15	71,6	30,4
к-15599	UFRGS 078007-4	360	77	2,6	2,72	75,6	34,6
к-15730	UFRGS 02 6017-1	610	77	2,3	2,39	80,0	36,0
к-15733	UFRGS 03 7025-4	100	78	2,9	2,98	79,7	34,5
II кластер / II cluster							
к-15545	UFRGS 21	420	80	2,1	2,53	91,6	31,8
III кластер / III cluster							
IV кластер / IV cluster							
к-14009	UPF 77S090	510	78	3,3	1,36	49,3	33,1
к-15543	UFRGS 19	200	80	3,1	1,63	51,4	32,4
к-15481	URS CORONA	690	76	3,0	1,86	52,9	40,0
к-15486	URS CHARRUA	530	76	3,1	1,67	48,6	39,3
к-15482	URS GUARA	520	76	3,3	1,56	40,8	33,0
к-15487	URS GURIA	730	74	3,3	1,56	40,8	34,5
к-15547	Скороспелый 1 / 'Skorospeley 1'	220	74	3,0	1,07	43,3	35,1
к-15544	UFRGS 20	180	76	2,6	1,26	38,6	31,1
к-15548	Скороспелый 2 / 'Skorospeley 2'	310	74	3,3	1,43	55,6	32,4
к-14010	UPF 79B369-1-2	400	82	3,0	1,14	35,3	35,3
к-15484	URS GUAPA	270	75	2,7	1,04	29,3	38,6
к-15488	URS TORENA	330	78	2,9	0,75	28,1	35,7
к-15490	URS BRAVA	670	78	2,9	1,55	46,9	38,9
V кластер / V cluster							
к-15734	UFRGS 03 7034-1	100	74	2,9	0,27	13,3	34,1
	HCP ₀₅ / LSD ₀₅	209	2,21	0,32	0,69	21,1	2,75

В четвёртый кластер вошли 14 образцов. Урожайность зерна – 180–730 г/м², продолжительность периода «всходы – восковая спелость» – 74–82 дня, продуктивная кустистость – 2,6–3,3 шт., масса 1000 зёрен – 31,1–40,0 г, масса зерна с метёлки – 0,75–1,86 г.

В пятый кластер выделен один образец UFRGS 03 7034-1 с самыми низкими показателями.

Из дендрограммы кластеризации по хозяйственно ценным признакам выявлена наиболее тесная связь у следующих сортообразцов URS GUARA, URS GURIA, Скороспелый 1, UFRGS 20 (рис. 2).

Кластерный анализ сортообразцов коллекционного питомника 2024 г. по совокупности шести признаков распределил образцы на 4 кластера (табл. 4, рис. 3).

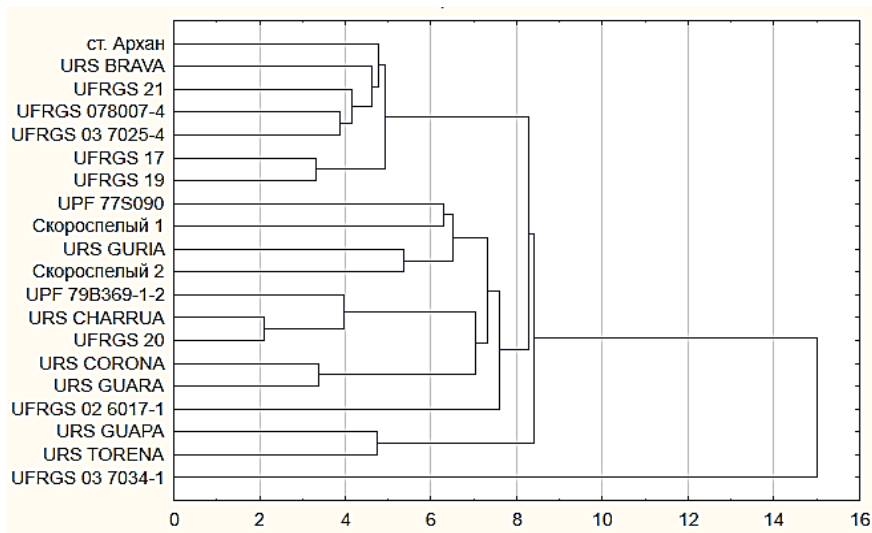


Рис. 3. Дендрограмма кластеризации пленчатых образцов в коллекционном питомнике овса посевного (2024 г.) /

Fig. 3. Dendrogram of filmy samples clustering in the collection nursery of cultivated oats (2024)

I кластер объединил стандартный районированный сорт Архан и 6 образцов, урожайность зерна варьировала от 380 до 710 г/м², продолжительность периода «всходы – восковая спелость» составила 75–85 дней, продуктивная кустистость – 2,3–3,3 шт., масса зерна с метёлки – 2,6–3,1 г, число зёрен в метёлке – 51,4–70,8 шт., масса 1000 зерен – 35,9–41,3 г.

II кластер является самым многочисленным, включает 10 сортообразцов, в том числе 8 из Бразилии и 2 образца из России (Ленинградская обл.). Урожайность зерна составила 90–770 г/м², продолжительность периода «всходы – восковая спелость» – 75–82 дня, продуктивная кустистость – 1,7–3,6 шт., масса зерна с метёлки – 1,2 и 2,2 г, число зёрен в метёлке – 33,0–54,5 шт., масса 1000 зерен – 36,1–45,5 г. Максимальной массой 1000 зерен (45,5 г) выделен образец из Бразилии (URS CORONA), сформировавший урожайность зерна 330 г/м², число зёрен в метёлке – 44,3 шт. и продуктивную кустистость 2,0 шт. Во II кластере максимальную урожайность 770 г/м² показал номер URS CHARRUA из Бразилии с массой 1000 зерен до 38,7 г (табл. 4).

Кластер III включает 2 сортообразца, урожайность зерна – 210–230 г/м², масса зерна с метёлки – 1,0–2,0 г, число зёрен в метёлке – 23–53,8 шт., масса 1000 зерен – 42,3–42,8 г.

В IV кластер вошёл один образец UFRGS 03 7034-1 с очень низкими показателями.

Из дендрограммы кластеризации по хозяйственно ценным признакам выявлена наиболее близкая связь у сортообразцов Архан (стандарт), URS BRAVA, UFRGS 21, UFRGS 078007-4 и UFRGS 03 7025-4 (рис. 3).

В селекционной работе практическую ценность представляет выявление фенотипических корреляций между парами исследованных признаков. Проведена оценка нормальности распределения исходных данных для обоснованного использования коэффициента корреляции. Вид кривой соответствует степени варьирования изучаемого признака. Корреляционный анализ урожайности зерна овса от основных элементов структуры урожая показал как положительную, так и отрицательную степень взаимосвязей.

Таблица 4 – Характеристики плёнчатых образцов овса посевного по ценным хозяйственно биологическим признакам по дендрограмме (2024 г.) /
Table 4 – Characteristics of flmy samples of cultivated oats by valuable economic and biological characteristics according to the dendrogram (2024)

Номер по каталогу ВИР / VIR catalog number	Образец / Sample	Урожайность зерна, г/м ² / Yield of grain, g/m ²	Продолжительность периода «всходы-восковая спелость» дни / Duration of the "shoots-wax ripeness" period, days	Продуктивная кустистость, шт. / Productive bushiness, pcs.	Масса зерна с метёлки, г / Grain weight per panicle, g	Число зёрен в метёлке, шт. / Number of grains in a panicle, pcs.	Масса 1000 зёрен, г / Weight of 1000 grains, g
I кластер / I cluster							
-	ст. Архан / st. 'Arhan'	580	78	2,3	2,8	70,8	38,3
к-15490	URS BRAVA	600	78	2,7	2,6	61,3	37,9
к-15545	UFRGS 21	470	75	2,7	2,9	68,6	35,9
к-15599	UFRGS 078007-4	380	78	3,3	2,7	65,0	36,2
к-15733	UFRGS 03 7025-4	510	78	2,7	2,9	68,6	37,0
к-15541	UFRGS 17	710	78	2,3	3,1	67,0	41,8
к-15543	UFRGS 19	690	79	2,4	2,7	51,4	40,8
II кластер / II cluster							
к-14009	UPF 77S090	230	82	2,6	1,7	42,7	36,9
к-15547	Скороспелый 1 / 'Skorospely 1'	300	75	2,4	1,7	54,5	38,5
к-15487	URS GURIA	630	79	2,3	2,1	54,3	38,2
к-15548	Скороспелый 2 / 'Skorospely 2'	400	75	3,6	1,6	49,6	36,0
к-14010	UPF 79B369-1-2	90	82	2,4	1,2	33,0	36,1
к-15486	URS CHARRUA	770	76	2,1	1,4	35,7	38,7
к-15544	UFRGS 20	360	82	3,0	1,4	50,0	39,8
к-15481	URS CORONA	330	79	2,0	1,7	44,3	45,5
к-15482	URS GUARA	250	76	1,7	2,0	41,0	44,9
к-15730	UFRGS 02 6017-1	370	78	2,3	2,2	51,4	38,5
III кластер / III cluster							
к-15484	URS GUAPA	210	77	1,7	2,0	53,8	42,3
к-15488	URS TORENA	230	75	2,3	1,0	23,0	42,8
IV кластер / IV cluster							
к-15734	UFRGS 03 7034-1	75	75	2,9	0,5	9,3	36,7
	HCP ₀₅ / LSD ₀₅	200	2,34	0,48	0,72	16,0	2,95

По корреляционным взаимосвязям парных признаков Пирсона в среднем за годы исследований среднюю положительную связь с урожайностью показал признак «масса зерна с метёлки» ($r = 0,52$, $p \geq 0,05$), «число зёрен в метёлке» ($r = 0,31$) и продолжительность периода «всходы – восковая спелость» ($r = 0,30$). Силу коррелятивной связи оценивали по

Б. А. Доспехову: $r < 0,3$ – слабая; $r = 0,3–0,7$ – средняя; $r > 0,7$ – сильная.

Наиболее тесную значимую связь с элементами структуры урожая показал признак «число зёрен в метёлке»: с массой зерна с метелки за весь период исследований ($r = 0,91$, $p \geq 0,001$) и урожайностью в 2022 и 2024 гг. (0,71 и 0,70 соответственно, $p \geq 0,05$) (табл. 5).

Таблица 5 – Коэффициенты парных корреляций между признаком «число зерен с метелки» и основными элементами структуры урожая плёнчатых образцов овса посевного /

Table 5 – Coefficients of pairwise correlations between the "number of grains per panicle" trait and the main elements of the yield structure of filmy samples of oats

Год / Year	Урожайность зерна / Yield of grain	Продолжительность периода «всходы-восковая спелость» / Duration of the "shoots-wax ripeness" period	Продуктивная кустистость, / Productive bushiness	Масса зерна с метёлки / Grain weight per panicle	Масса 1000 зёрен / Weight of 1000 grains
2022	0,71	0,53	0,46	0,92	0,17
2023	0,27	0,47	-0,48	0,94	-0,18
2024	0,70	0,30	0,06	0,97	-0,19
2022–2024	0,45	0,40	-0,21	0,91	-0,14

Результаты корреляционного анализа указывают на то, что увеличение количества и массы зерен в каждой метёлке, а также продолжительности периода вегетации являются важными биологическими факторами, способствующими повышению урожайности культуры. Селекционеры могут использовать эту информацию для отбора и выведения сортов овса с улучшенными характеристиками, направленными на оптимизацию этих признаков.

Заключение. В условиях Архангельской области в период 2022–2024 гг. получена характеристика плёнчатых образцов овса посевного из коллекции ВИР по основным хозяйственно-биологическим признакам.

Кластерный анализ исследуемых сортообразцов позволил разбить их на группы (кластеры) и выделить номера, обладающие хозяйственно-биологическими признаками, ценными при селекции культуры на высокую продуктивность. Данная группировка образцов позволила оценить корреляционные связи у изучаемых признаков в разные годы изучения. За 2022–2024 гг. исследований наиболее тесная значимая взаимосвязь установлена между

признаками «число зёрен в метелке» и «масса зерна с метелки» ($r = 0,91$, $p \geq 0,001$). При поиске источников хозяйственно ценных признаков наиболее значимый интерес представляют плёнчатые сортообразцы, входящие в I и II кластеры. В наших исследованиях к I кластеру все три года изучения относился только стандартный сорт Архан.

По результатам сортоизучения плёнчатых образцов овса посевного в коллекционном питомнике (2022–2024 гг.) методом кластерного анализа выделены источники, представляющие интерес для включения в селекционный процесс:

- по массе 1000 зёрен (37,4–42,7 г): URS CORONA, URS GUAPA, URS BRAVA, URS CHARRUA и стандарт Архан;

- по озернённости метёлки (64,1–76,5 шт.): UFRGS 21, UFRGS 02 6017-1, UFRGS 17, стандарт Архан;

- по скороспелости (74–76 дней): Скороспелый 1, Скороспелый 2, URS GURIA, URS TORENA, URS GUAPA, URS CHARRUA, UFRGS 03 7034-1.

Список литературы

1. Зобнина И. В., Корелина В. А., Батакова О. Б. Реакция абиотических условий на формирование урожайности зерна овса ярового в условиях Северного региона РФ. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020;15(3):263–271. DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2020-15-3-263-271> EDN: OFLYVM

2. Емельянов А. М., Бутудаев А. П., Бутуханов А. Б., Кушнарёв А. Г., Коршунов В. М. Овес на зерносеяж в системе земледелия и кормопроизводства Бурятии. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2021;(2(63)):6–12. DOI: <https://doi.org/10.34655/bgsha.2021.63.2.001> EDN: PADENF

3. Юсова О. А., Николаев П. Н., Васюкевич В. С., Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Качество зерна сортов овса селекции Омского аграрного научного центра. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020;(3):81–91. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42724310> EDN: AYYYSJW
4. Скрябин А. А., Фрольцова И. Н., Антипина А. А. Овёс посевной – ценная злаковая культура. E-Scio. 2020;(8(47)):282–290. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43923007> EDN: YRTBXTX
5. Добруцкая Е. Г., Пивоваров В. Ф. Экологическая роль сорта в XXI веке. Селекция и семеноводство. 2000;(1):28–30.
6. Косяненко Л. П. Сорт как ведущий фактор эффективности зернового производства. Зерновое хозяйство. 2002;(5):18–19.
7. Фатыхов И. Ш., Колесникова В. Г., Степанова М. А. Сравнительная продуктивность сортов овса при разных нормах высева в Среднем Предуралье. Главный агроном. 2007;(5):8–10.
8. Аbugалиева С. И., Середя Г. А., Чудинов В. А., Сариев Б. С., Туруспеков Е. К. Анализ хозяйственно ценных признаков мировой коллекции овса, выращенной в трех различных регионах Казахстана. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2013;171:168–174.
9. Жуйкова О. А., Баталова Г. А. Анализ адаптивности сортов и линий овса по элементам продуктивности в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):949–957. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.949-957> EDN: SIRCSC
10. Петрова Л. В. Оценка коллекционных сортообразцов овса посевного (*Avena sativa* L.) по хозяйственно ценным признакам методом кластерного анализа в условиях Центральной Якутии. Международный сельскохозяйственный журнал. 2021;(5(383)):46–50. DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-5-46-50> EDN: ZZTLJF
11. Тулякова М. В., Баталова Г. А., Пермьякова С. В. Адаптивный потенциал коллекционных образцов овса плечатого в условиях Кировской области. Таврический вестник аграрной науки. 2022;(2(30)):143–154. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49231773> EDN: AIRDGBP
12. Степанова Н. А., Сидоренко В. С., Яндубайкин Е. Е. Кластерный анализ сортов и селекционных линий яровой мягкой пшеницы по показателям структурного анализа и качества зерна. Зернобобовые и крупяные культуры. 2023;(2(46)):107–116. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2023-2-107-116> EDN: WYBVMP
13. Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В. Кластерный анализ коллекционного материала гороха с генами усатого типа листа (af) и неосыпаемости семян (def). Зерновое хозяйство России. 2021;(2(74)):40–44. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-74-2-40-44> EDN: DUSXER
14. Шурхаева К. Д., Фадеева А. Н. Изучение генофонда гороха посевного с применением кластерного анализа. Зернобобовые и крупяные культуры. 2020;(1(33)):16–23. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11149> EDN: YMRSRX
15. Сотник А. Я., Лоскутов И. Г. Селекционно-ценные образцы овса с оптимальным сочетанием урожайности и продолжительности вегетационного периода для Приобской лесостепи. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(2):19–23. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10204> EDN: OJJQTB

References

1. Zobnina I. V., Korelina V. A., Batakova O. B. Influence of abiotic factors on spring oat yields in the northern region of Russian Federation. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družbi narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2020;15(3):263–271. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2020-15-3-263-271>
2. Emelyanov A. M., Butudaev A. P., Butukhanov A. B., Kushnarev A. G., Korshunov V. M. Oats for grains silage in the farming and fodder production system in Buryatia. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova* = Bulletin of Buryat State Academy of Agriculture. 2021;(2(63)):6–12. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34655/bgsha.2021.63.2.001>
3. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Vasyukevich V. S., Aniskov N. I., Safonova I. V. Grain quality of spring oat varieties developed at the Omsk agricultural scientific center. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2020;(3):81–91. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42724310>
4. Skryabin A. A., Frolova I. N., Antipina A. A. Oats are a valuable cereal crop. E-Scio. 2020;(8(47)):282–290. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43923007>
5. Dobrutskaya E. G., Pivovarov V. F. The ecological role of a cultivar in the 21st century. *Seleksiya i semenovodstvo*. 2000;(1):28–30. (In Russ.).
6. Kosyanenko L. P. Variety as a leading factor in the efficiency of grain production. *Zernovoe khozyaystvo*. 2002;(5):18–19. (In Russ.).
7. Fatikhov I. Sh., Kolesnikova V. G., Stepanova M. A. Comparative productivity of oat cultivars at different seeding rates in the Middle Urals. *Glavny agronom*. 2007;(5):8–10. (In Russ.).
8. Abugaliev S. I., Sereda G. A., Chudinov V. A., Sariev B. S., Turuspekov E. K. Agronomic traits variability of world collection of oat grown in three regions of Kazakhstan. *Trudi po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2013;171:168–174. (In Russ.).

9. Zhuikova O. A., Batalova G. A. Analysis of adaptability of oat varieties and lines by productivity elements in the conditions of Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):949-957. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.949-957>

10. Petrova L. V. Evaluation of collection varietal samples of sown oats (*Avena sativa* L.) by economically valuable characteristics by the method of cluster analysis in the conditions of Central Yakutia. *Mezhdunarodny selskokhozyaystvenny zhurnal* = International Agricultural Journal. 2021;(5(383)):46–50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-5-46-50>

11. Tulyakova M. V., Batalova G. A., Permyakova S. V. Adaptive potential of filmy *Avenasativa* L. samples under conditions of the Kirov region. *Tavrishesky vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2022;(2(30)):143–154. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49231773>

12. Stepanova N. A., Sidorenko V. S., Yandubaykin E. E. Cluster analysis of varieties and breeding lines of spring soft wheat by indicators of structural analysis and grain quality. *Zernobobovye i krupyanie kulturi* = Legumes and Groat Crops. 2023;(2(46)):107–116. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2023-2-107-116>

13. Ashiev A. R., Khabibullin K. N., Skulova M. V. Cluster analysis of collection material of peas with genes of leafletless type (af) and non-shedding seeds (def). *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2021;(2(74)):40–44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-74-2-40-44>

14. Shurkhaeva K. D., Fadeeva A. N. Study of the field pea gene pool with application of cluster analysis. *Zernobobovye i krupyanie kulturi* = Legumes and Groat Crops. 2020;(1(33)):16–23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11149>

15. Sotnik A. Ya., Loskutov I. G. Valuable breeding oats varieties having optimal productivity and duration of the growing season for the forest-steppe of the Ob river region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(2):19–23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10204>

Сведения об авторах

✉ **Зобнина Ирина Валентиновна**, научный сотрудник лаборатории растениеводства, ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, пр. Никольский, д. 20, г. Архангельск, Российская Федерация, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8585-0036>, e-mail: 19651960@mail.ru

Корелина Валентина Александровна, кандидат с.-х. наук, зав. лаборатории растениеводства, ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, пр. Никольский, д. 20, г. Архангельск, Российская Федерация, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6052-7574>

Батакова Ольга Борисовна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории растениеводства, ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, пр. Никольский, д. 20, г. Архангельск, Российская Федерация, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9883-6054>

Носков Алексей Николаевич, научный сотрудник лаборатории растениеводства, ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, пр. Никольский, д. 20, г. Архангельск, Российская Федерация, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3848-2060>

Information about the authors

✉ **Irina V. Zobnina**, researcher, the Laboratory of Crop Production, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky Ave., 20, Arkhangelsk, Russian Federation, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8585-0036>, e-mail: 19651960@mail.ru

Valentina A. Korelina, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Crop Production, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky Ave., 20, Arkhangelsk, Russian Federation, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6052-7574>


Olga B. Batakova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Crop Production, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky Ave., 20, Arkhangelsk, Russian Federation, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9883-6054>

Alexey N. Noskov, researcher, the Laboratory of Crop Production, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky Ave., 20, Arkhangelsk, Russian Federation, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3848-2060>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Новый сорт картофеля Забияка для условий Волго-Вятского региона

© 2025. И. В. Лыскова , О. Н. Башлакова, П. В. Пермяков, Е. И. Кратюк
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого» г. Киров, Российская Федерация

В статье представлены результаты сравнительного изучения нового сорта картофеля Забияка за 2020–2024 гг. в агроэкологических условиях Кировской области (Волго-Вятский регион) по основным хозяйственно ценным признакам. В качестве стандарта использовали среднеранний сорт Невский (ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха). Новый сорт создан методом искусственной гибридизации путем клонового отбора из гибридной комбинации (Аврора х Киви) по договору о совместном сотрудничестве с селекционным центром ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха. По результатам конкурсного сортоиспытания сорт Забияка статистически значительно превосходил по урожайности стандартный Невский (18,5 т/га) и ранее включенный в Госреестр РФ сорт Виразж (20,5 т/га), средняя урожайность нового сорта составила 25,7 т/га, максимальная – 30,4 т/га. Новый сорт показал высокую адаптивность к условиям возделывания (коэффициент адаптивности 1,19) по сравнению с другими – Невский – 0,86, Виразж – 0,95. Сорт Забияка столового назначения с хорошими вкусовыми качествами (4,2–4,7 балла), среднее содержание крахмала за годы испытания составило 14,6 %, максимальное – 15,7 %. Окраска мякоти клубней кремовая. По данным Всероссийского пункта по испытанию картофеля на устойчивость к раку и нематод, Забияка устойчив к обычному (патотип I) раку картофеля и золотистой цистообразующей картофельной нематодой (R01). По результатам многолетней селекционной работы, в 2024 г. на государственное сортоиспытание передан среднеранний сорт картофеля Забияка (заявка № 91514/7553347, дата приоритета 08.05.2024). Новый сорт предлагается для возделывания в Волго-Вятском регионе.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., селекция, группа спелости, урожайность, адаптивность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2025-0007). Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лыскова И. В., Башлакова О. Н., Пермяков П. В., Кратюк Е. И. Новый сорт картофеля Забияка для условий Волго-Вятского региона. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025;26(6):1218–1225.


DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1218-1225>

Поступила: 05.03.2025

Принята к публикации: 18.11.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

A new potato cultivar ‘Zabiyaka’ for the conditions of the Volga-Vyatka region

© 2025. Irina V. Lyskova , Olga N. Bashlakova, Pavel V. Permyakov,
Elena I. Kratyuk

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

The article presents the results of a comparative study of the new potato cultivar ‘Zabiyaka’ for 2020–2024 in the agroecological conditions of the Kirov region (Volga-Vyatka region) according to the main economically valuable characteristics. As a standard, the middle early cultivar ‘Nevsky’ (Russian Potato Research Centre) was used. The new cultivar was developed by artificial hybridization by clone selection from a hybrid combination (‘Aurora’ x ‘Kiwi’) under a joint cooperation agreement with the breeding center of the Russian Potato Research Centre. According to the results of the competitive variety testing, the ‘Zabiyaka’ cultivar was statistically significantly superior in yield to the standard ‘Nevsky’ cultivar (18.5 t/ha) and the ‘Virage’ cultivar (20.5 t/ha), previously included in the State Register of the Russian Federation. The average yield of the new cultivar was 25.7 t/ha, maximum – 30.4 t/ha. The new cultivar showed high adaptability to cultivation conditions (adaptability coefficient 1.19) compared to other cultivars (‘Nevsky’ – 0.86, ‘Virage’ – 0.95). Table cultivar ‘Zabiyaka’ with good taste (4.2–4.7 points), the average starch content over the years of testing was 14.6 %, the maximum – 15.7 %. The color of the tuber pulp is cream. According to the data of the All-Russian Testing Station for Potatoes Resistance to Cancer and Potato Nematode the ‘Zabiyaka’ cultivar is resistant to common potato cancer (pathotype I) and golden cyst-forming potato nematode (R01). Based on the results of many years of breeding work in 2024, the middle early potato cultivar ‘Zabiyaka’ was transferred to the state variety testing (application No. 91514/7553347, priority date 08.05.2024). The new cultivar is offered for cultivation in the Volga-Vyatka region.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., breeding, ripeness group, yield, adaptability

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 No. FNWE-2022-0007).

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

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

For citations: Lyskova I. V., Bashlakova O. N., Permyakov P. V., Kratyuk E. I. A new potato cultivar 'Zabiyaka' for the conditions of the Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1218–1225. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1218-1225>

Received: 05.03.2025

Accepted for publication: 18.11.2025

Published online: 26.12.2025

Создание сорта – это долгий и непрерывный процесс в селекционной работе. Новые сорта должны превосходить, прежде всего, сорт-стандарт по урожайности и обладать другими агрономически ценными свойствами, по которым они будут отличаться от своих предшественников [1, 2, 3, 4]. Одним из основных направлений в селекции картофеля на Фалёнской селекционной станции – филиале Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого является создание сортов картофеля столового типа. В Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на 2024 г.¹, внесены сорта Алиса, Виза, Чайка, Огниво, Глория, Голубка, Вираз (селекционеры З. Ф. Сергеева и Н. Ф. Синцова), которые рекомендованы для возделывания в Волго-Вятском, Северо-Западном и Северном регионах РФ. Успешно на станции ведется селекция на устойчивость к золотистой картофельной нематоды (*Globodera rostochiensis* Woll.), которая вызывает опасное заболевание картофеля глободероз. Сорта Глория, Голубка, Вираз являются устойчивыми к данному карантинному объекту.

Ценность сорта любой сельскохозяйственной культуры, в т. ч. картофеля, определяется комплексом показателей. В приоритете – экологическая пластичность и стабильность генотипа по урожайности, эффективную отдачу от сорта можно получить только при возделывании в оптимальных почвенно-климатических условиях, наиболее полно отвечающих его генотипическим особенностям, т. е. сорт должен быть адаптивным [5, 6, 7, 8].

Задачу по выявлению и созданию сортов, наиболее приспособленных к определенным почвенно-климатическим условиям (т. е. адаптивных, урожайных, устойчивых к болезням и вредителям), ставят многие научные учреждения [9, 10, 11, 12], в сравнительное испытание включаются сорта как отечественной, так и зарубежной селекции [13, 14, 15].

Цель исследований – оценить по результатам конкурсного сортоиспытания биологические и хозяйственно ценные признаки нового сорта картофеля Забияка.

Научная новизна – в результате многолетней селекционной работы создан сорт картофеля с улучшенными агрономическими показателями для условий Волго-Вятского региона.

Материал и методы. Исследования проводили в лаборатории селекции и первичного семеноводства картофеля на опытных полях Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2020–2024 гг.

Объекты исследований: сорта картофеля – Невский (ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха), утвержденный в Кировской области в качестве стандарта; Вираз (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, в Госреестре РФ с 2018 г.), Забияка (передан на госсортоиспытание в 2024 г.).

Почва опытных участков – дерново-подзолистая среднесуглинистая, рН_{KCl} – 4,4...4,9 (потенциметрически), содержание гумуса 2,40–2,78 % (по методу Тюрина), подвижного фосфора – 236–347 мг/кг и обменного калия – 178–252 мг/кг почвы (по методу Кирсанова). Предшественник – зерновые культуры. В качестве удобрения под культивацию внесена нитроаммофоска (N₆P₂₀K₃₀) в дозе 3,0 ц/га.

Наблюдения, учеты и оценку проводили согласно методическим указаниям по технологии селекционного процесса картофеля². Сортообразцы в полевых условиях визуально оценивали по устойчивости к вирусным болезням, фитофторозу (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Baru), парше обыкновенной (*Streptomyces scabies*) по 9-балльной шкале, где 9 баллов – очень высокая устойчивость (отсутствие признаков болезни), 1 балл – отсутствие устойчивости (100%-е поражение ботвы)³. Оценка селекционного материала по основным биохимическим показателям проводили, используя общепринятые методики⁴.

¹Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/registry/> (дата обращения: 16.12.2024).

²Методика исследования по культуре картофеля. М., 1967. 264 с.; Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. Сост. Е. А. Симаков, Н. П. Склярова, И. М. Яшин. М.: Достижения науки и техники АПК, 2006. 70 с.

³Международный классификатор СЭВ видов картофеля секции *Tuberarium* (Dun.) Buk. рода *Solanum* L. Л., 1984. 41 с.

⁴Практикум по агрохимии. Под ред. В. В. Кидина. М.: КолосС, 2008. 599 с.

Метеорологические условия вегетационных периодов различались в годы исследований в большей степени неравномерным распределением тепла и влаги в основные периоды роста картофеля (табл. 1). В 2020 г. гидротермический коэффициент по Селянову⁵ (ГТК) составил 1,11. При этом осадки

в третьей декаде июля и в первой августа, превысившие климатическую норму в 2,5 раза, спровоцировали появление в начале августа пятен фитофтороза на ботве картофеля, но размаха эпифитотии фитофтороза в дальнейшем не наблюдали из-за засушливой погоды.

Таблица 1 – Метеорологические условия вегетационного периода в годы исследований (2020–2024 гг.), по данным Фаленской метеостанции /

Table 1 – Meteorological conditions of the growing season during the research years (2020–2024), according to the Falenki Weather Station

Год / Year	Средняя температура воздуха, °C / Average air temperature, °C				ГТК / HTC	Количество осадков, мм / Amount of precipitation, mm				
	май / may	июнь / june	июль / july	август / august		май / may	июнь / june	июль / july	август / august	май-август / may-august
2020	12,1	14,3	20,2	14,7	1,11	65	46	84	52	247
2021	15,0	19,3	18,8	18,2	0,77	76	19	65	36	196
2022	8,3	15,3	19,8	19,5	0,83	64	66	52	8	187
2023	13,4	14,0	18,8	17,3	0,78	44	30	80	28	182
2024	7,1	18,4	18,8	15,4	1,65	44	86	46	102	278
Среднее* / Average	11,4	15,9	18,3	15,4	1,40	44	77	67	73	261

*Среднее многолетнее значение, рассчитанное в соответствии с требованиями Всемирной метеорологической организации за 30-летний период (1991...2020 гг.) /

* Long-term average annual calculated in accordance with the requirements of the World Meteorological Organization for a 30-year period (1991...2020)

Вегетационный период 2021 г. характеризовался повышенными температурами воздуха – средняя температура за период с мая по август составила 17,8 °C (+3,1 °C к норме), ГТК = 0,75. В июне наблюдалась засуха, в этих условиях картофель прекратил рост и развитие надземной массы, прирост клубней остановился. Исправили ситуацию осадки в июле на уровне средне-многолетней нормы, которые выпадали равномерно в течение всего месяца, что положительно сказалось на урожайности картофеля.

Вегетационный период 2022 г. характеризовался также неравномерным выпадением осадков, особенно в период с середины мая до конца третьей декады июня. Из-за чего к посадке картофеля приступили позже средне-многолетних сроков на две недели. ГТК июня составил 1,49, в целом за вегетацию показатель равнялся 0,76.

Вегетационный период 2023 г. отличался переменной температурой с колебаниями от +13,0 °C в III декаде июня до +20,6 °C в I декаде августа при ГТК – 0,78. Частые туманы

в августе привели к эпифитотийному развитию патогена *Phytophthora infestans*, к уборке ботва у восприимчивых сортов полностью погибла.

Вегетационный период 2024 г. характеризовался избыточным увлажнением в июне, августе и недостаточным в июле, что в целом негативно отразилось на продуктивности картофеля.

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного анализа с использованием пакета селекционно-ориентированных программ AGROS – версия 2.07.

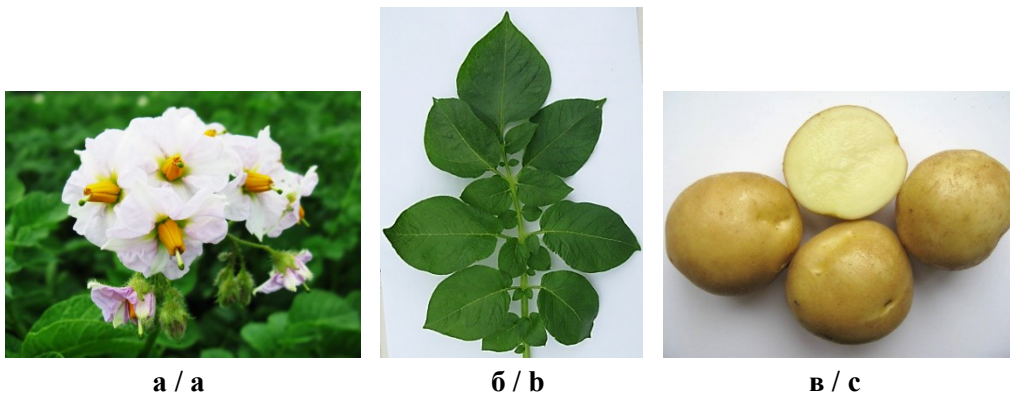
Результаты и их обсуждение. Сорт Забияка создан методом искусственной гибридизации путем клонового отбора из гибридной комбинации (Аврора х Киви), гибридные семена которой были получены в 2011 г. по договору о совместном сотрудничестве с селекционным центром ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха. Селекционный материал прошел изучение во всех питомниках, с 2016 г. – в конкурсном сортоиспытании.

⁵Научно-прикладной справочник по климату СССР: в 6 ч. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Л., 1988. Вып. 12. 647 с.

В качестве родительской формы использовали сорт Аврора (ООО «Всеволожская селекционная станция», Ленинградская обл.), устойчивый к раку (патотип I) и золотистой картофельной нематоды (R01), умеренно восприимчивый по ботве и клубням к возбудителю фитофтороза, столового направления использования, масса клубня 93–128 г. Сорт Киви (Калужская область, не проходил сортоиспытание) – позднеспелый, столового назначения. Листья сильноопушенные, не повреждается колорадским жуком. Клубни с сильно сетчатой кожурой и белой мякотью. Сорт обладает высокой устойчивостью к грибным и вирусным заболеваниям, имеет хорошую лежкость.

Морфологическое описание сорта Забияка. Куст средней высоты, промежуточного типа, полураскидистый, 4-5-стебельный, слабовет-

вистый. Стебель: антоциановая окраска отсутствует. Лист большой величины, открытость промежуточная, рассеченность высокая, светло-зеленый. Размер второй пары боковых листочков средний, ширина по отношению к длине средняя, плоскостность отсутствует, волнистость края листочка отсутствует. Глубина жилок мелкая, антоциановая окраска средняя, глянецовитость тусклая, опушенность слабая, листочек овальной формы. Частота вторичных листочков высокая. Соцветие маленькое среднецветковое, венчик цветка средней величины, красно-фиолетовой окраски, антоциановая окраска бутона слабая, антоциановая окраска цветоножки отсутствует. Цветение слабое, ягодообразование отсутствует. Клубни округло-овальной формы, окраска кожуры бежевая, окраска мякоти кремовая (рис.).



*Рис. Внешний вид картофеля сорта Забияка: а – соцветие; б – лист; в – клубни /
Fig. The appearance of potatoes of the ‘Zabiyaka’ cultivar: a – inflorescence; b – leaf; c – tubers*

Хозяйственные и биологические свойства сорта Забияка. Средняя урожайность сортов картофеля в конкурсном сортоиспытании за годы изучения составила 21,6 т/га. В наибольшей степени биологическим требованиям культуры отвечали условия 2021, 2022 и 2023 гг., когда урожайность сортов картофеля в конкурсном питомнике составила 26,4, 22,0 и 22,7 т/га соответственно при положительных значениях индекса условий среды (I_j)⁶ (табл. 2). В неблагоприятные 2020 и 2024 гг. I_j имел отрицательное значение, средняя урожайность составила всего 18,7 и 18,1 т/га. Новый сорт Забияка формировал урожайность (среднее значение 25,7 т/га) достоверно выше стандартного сорта Невский и ранее районированного сорта Вираз. Максимальная урожайность нового сорта получена в благоприятный год

на уровне 30,4 т/га. Оценка сортов по урожайности на 60-й день от посадки путем пробных копок показала, что новый сорт формировал урожай в среднем за пять лет исследований выше стандарта на 1,5 т/га со средней массой клубня 42,2 г (сорт-стандарт – 44,4 г, Вираз – 45,0 г), по данному показателю новый сорт отнесен к среднеранней группе спелости.

Оценка сортов по показателю «стрессоустойчивость» показала, что снижение урожайности ($Y_{min} - Y_{max}$) в опыте было минимальным у Забияка, что характеризует сорт как более устойчивый к изменяющимся погодным условиям (табл. 3). Способность формирования высокой урожайности подтверждает и показатель генетической гибкости $(Y_{min} + Y_{max})/2$, характеризующий соответствие между генотипом и условиями среды⁷. Новый сорт показал

⁶Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сельскохозяйственных культур. Сельскохозяйственная биология. 1984;(4):109–113.

⁷Кильчевский А. В. Экологическая организация селекционного процесса. Экологическая генетика культурных растений: мат-лы школы молодых ученых. Краснодар: РАСХН, Всесоюзный научно-исследовательский институт риса, 2005. С. 40–55.

также высокую адаптивность к условиям возделывания (коэффициент адаптивности выше единицы) по сравнению с другими сортами. Согласно методу ранжирования сортов, когда высший ранг присваивается сорту с макси-

мальным значением показателя и последующим вычислением суммы рангов, сорт Забияка, набравший наименьшую сумму, выделяется как наиболее приспособленный к условиям среды.

Таблица 2 – Урожайность сортов картофеля в конкурсном сортоиспытании, т/га / Table 2 – Yield of potato cultivars in competitive variety testing, t/ha

<i>Cорт / Cultivar</i>	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	<i>Среднее / Average</i>	<i>Отклонение от стандарта / Deviation from the standard</i>
Общая / Total							
Невский, ст. / 'Nevsky', st.	15,1	23,7	19,6	20,0	14,4	18,5 a	-
Виразж / 'Virazh'	14,3	25,2	23,2	21,5	18,5	20,5 a	+2,0
Забияка / 'Zabiyaka'	26,9	30,4	23,2	26,5	21,4	25,7 b	+7,2
Среднее / Average	18,7 a	26,4 d	22,0 bc	22,7 c	18,1 a	21,6	-
Ij	-2,8	4,8	0,4	1,1	-3,5	-	-
HCP ₀₅ фактор А (сорт) 2,2; HCP ₀₅ фактор В (год) 2,9 / LSD ₀₅ factor A (cultivar) 2.2; LSD ₀₅ factor B (year) 2.9							
На 60-й день после посадки / On the 60th day after planting							
Невский, ст. / 'Nevsky', st.	6,5	12,5	12,9	8,3	8,3	9,7	-
Виразж / 'Virazh'	6,0	13,8	14,1	10,1	8,8	10,6	+0,9
Забияка / 'Zabiyaka'	7,8	13,9	13,7	10,2	10,7	11,2	+1,5
Среднее / Average	6,8 a	13,4 cd	13,5 d	9,5 b	9,2 b	-	-
HCP ₀₅ фактор А (сорт) F _φ < F _τ ; HCP ₀₅ фактор В (год) 1,9 / LSD ₀₅ factor A (cultivar) F _φ < F _τ LSD ₀₅ factor B (year) 1.9							

Примечание. Варианты, сопровождаемые одинаковыми латинскими буквами, различаются незначимо по критерию Дункана /

Note. Variants accompanied by identical Latin letters differ slightly according to the Duncan criterion

Таблица 3 – Адаптивность сортов картофеля конкурсного сортоиспытания (2020–2024 гг.) / Table 3 – Adaptability of potato cultivars of the competitive variety testing (2020–2024)

<i>Cорт / Cultivar</i>	<i>Показатель / Indicator</i>						<i>Сумма рангов / Sum of ranks</i>
	$Y_{min} - Y_{max} / U_{min} - U_{max}$	<i>ранг, балл / rank, points</i>	$(Y_{min} + Y_{max})/2 / (U_{min} + U_{max})/2$	<i>ранг, балл / rank, points</i>	K_a	<i>ранг, балл / rank, points</i>	
Невский, ст. / 'Nevsky', st.	-9,3	2	19,1	3	0,86	3	8
Виразж / 'Virazh'	-10,9	3	19,8	2	0,95	2	7
Забияка / 'Zabiyaka'	-9,0	1	25,9	1	1,19	1	3

Примечания: $(Y_{min} - Y_{max}) - U_{min} - U_{max}$ – стрессоустойчивость; $(Y_{min} + Y_{max})/2 - U_{min} + U_{max})/2$ – генетическая гибкость; K_a – коэффициент адаптивности /

Notes: $(Y_{min} - Y_{max}) - U_{min} - U_{max}$ – stress resistance; $(Y_{min} + Y_{max})/2 - U_{min} + U_{max})/2$ – genetic flexibility; K_a – coefficient of adaptability

По данным Всероссийского пункта по испытанию картофеля на устойчивость к раку и нематоде, сорт устойчив к обычному (патотип I) раку картофеля и золотистой цистообразующей картофельной нематоде (R01). Имеет среднюю полевую устойчивость к морщинистой и полосчатой мозаике, клубни в слабой степени пора-

жаются паршой обыкновенной. Устойчивость листьев и клубней к фитофторозу высокая.

Рекомендуемый новый сорт картофеля Забияка пригоден для выращивания на участках, зараженных золотистой картофельной нематодой, подходит для получения ранней продукции. Сорт предлагается для возделывания в Волго-Вятском регионе.

Сорт Забияка столового назначения, с хорошими вкусовыми качествами (4,2–4,7 балла), окраска мякоти клубней после варки кремовая. Среднее содержание крахмала за годы испы-

тания составило 14,6 %, максимальное – 15,7 %, сухого вещества – 22,4 и 25,6 %, белка – 1,7 и 2,3 %, витамина С – 22,8 и 34,2 мг/%, редуцирующих сахаров – 0,32 и 0,46 % соответственно (табл. 4).

Таблица 4 – Характеристика сортов картофеля по основным хозяйственно ценным признакам (среднее за 2020–2024 гг.) /

Table 4 – Characteristics of potato cultivars according to the main economically valuable characteristics (average for 2020–2024)

<i>Показатель / Indicator</i>	<i>Невский, ст. / 'Nevsky', st.</i>	<i>Виразж / 'Virazh'</i>	<i>Забияка / 'Zabiyaka'</i>
Общее количество клубней, шт/куст / Total number of tubers, pcs/plant	<u>8,6</u> 5,7–11,0	<u>9,2</u> 6,1–11,1	<u>13,7</u> 10,7–15,9
Количество товарных клубней, шт/куст / Number of commercial tubers, pcs/plant	<u>5,9</u> 4,1–6,7	<u>5,7</u> 4,2–6,6	<u>8,1</u> 7,1–9,3
Масса товарного клубня, г / Mass of commercial tuber, g	90–130	80–110	80–100
Товарность клубней, % / Marketability of tubers, %	<u>94,5</u> 90,9–97,0	<u>94,5</u> 90,0–98,0	<u>91,5</u> 87,5–94,5
Лежкость*, % / Shelf life*, %	<u>98,8</u> 98,0–100,0	<u>96,3</u> 93,0–99,0	<u>97,0</u> 90,0–100,0
Сухое вещество, % / Dry matter, %	<u>20,5</u> 19,5–21,7	<u>21,7</u> 16,3–21,6	<u>22,4</u> 18,2–25,6
Крахмал, % / Starch, %	<u>13,3</u> 12,0–14,4	<u>13,3</u> 12,1–14,5	<u>14,6</u> 13,5–15,7
Протеин, % / Protein, %	<u>1,9</u> 1,1–2,6	<u>1,7</u> 1,4–1,9	<u>1,7</u> 1,4–2,3
Аскорбиновая кислота, мг% / Ascorbic acid, mg%	<u>24,6</u> 9,6–33,4	<u>20,0</u> 10,0–24,8	<u>22,8</u> 14,2–34,2
Редуцирующие сахара, % / Reducing sugars, %	<u>0,24</u> 0,11–0,39	<u>0,19</u> 0,13–0,24	<u>0,32</u> 0,17–0,46
Вкус, балл / Taste, points	3,0–4,0	3,4–4,3	4,2–4,7

Примечания: * Среднее значение за 2020–2023 гг.; в числителе – среднее значение показателя, в знаменателе – минимум – максимум /

Notes: * The average value for 2020–2023; Above the line is the average value of the indicator, below the line is the minimum and maximum

Заключение. Таким образом, по результатам многолетних исследований, проведенных в лаборатории селекции и первичного семеноводства картофеля Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, создан новый сорт картофеля Забияка для почвенно-климатических условий Волго-Вятского региона. Доказано его превосходство в сравнении со стандартным сортом Невский и ранее районированным Виразж по основным хозяйственно ценным показателям. Средняя урожайность сорта Забияка (25,7 т/га) существенно выше сортов Невский (18,5 т/га) и Виразж

(20,5 т/га). Новый сорт показал высокую адаптивность к условиям возделывания (коэффициент адаптивности 1,19) по сравнению с другими сортами (Невский – 0,86, Виразж – 0,95). Сорт Забияка столового назначения с хорошими вкусовыми качествами (4,2–4,7 балла), среднее содержание крахмала за годы испытания составило 14,6 %, что выше стандарта Невский и сорта Виразж на 0,4–1,2 балла и 1,3 % соответственно. В 2024 г. новый сорт картофеля Забияка (селекционный номер 233-12) передан на государственное сортоиспытание (заявка № 91514/7553347, дата приоритета 08.05.2024).

Список литературы

1. Симаков Е. А., Митюшкин А. В., Журавлев А. А., Митюшкин Ал-р В., Гайзатулин А. С., Салюков С. С., Овечкин С. В., Семенов В. А. Селекция конкурентоспособных сортов картофеля для различного назначения. Картофель и овощи. 2023;(1):35–40. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.49.99.005> EDN: BSDCPK
2. Жигадло Т. Э. Оценка селекционных сортов картофеля по ценным агрономическим признакам в условиях Мурманской области. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(4):107–114. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-107-114> EDN: VHMAAJ

3. Гериева Ф. Т., Ревазова З. И. Результаты испытаний перспективных сортов картофеля в почвенно-климатических условиях предгорной зоны РСО-Алания. *Аграрный вестник Урала*. 2023;23(10):34–48. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-10-34-48> EDN: EMIMYM
4. Банадысев С. А., Шанина Е. П. Факторы конкурентоспособности селекции картофеля в России. *Картофельная система*. 2023;(3):44–53. Режим доступа: <https://potatosystem.ru/factory-konkurentosposobnosti-selekcii-kartofelya-v-rossii/>
5. Добруцкая Е. Г., Пивоваров В. Ф. Экологическая роль сорта в 21 веке. *Селекция и семеноводство*. 2000;(1):10–12.
6. Молявко А. А., Жевора С. В., Марухленко А. В., Борисова Н. П., Ториков В. Е. Адаптивность сортов картофеля – важный фактор урожайности. *Вестник Брянской ГСХА*. 2022;(1):17–23. DOI: <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2022-89-1-17-23> EDN: NPOZVM
7. Дергилева Т. Т., Васильев А. А. Адаптивный потенциал среднеспелых сортов картофеля челябинской селекции в условиях Южного Урала. *Агропродовольственная политика России*. 2024;(1(109)):21–30. DOI: https://doi.org/10.35524/2227-0280_2024_01_21 EDN: GWSTNP
8. Попова Л. А., Головина Л. Н., Шаманин А. А. Экологическая пластичность и стабильность сортообразцов картофеля в условиях Архангельской области. *Достижения науки и техники АПК*. 2021;35(4):41–44. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10406> EDN: SKFDUL
9. Сапега В. А. Урожайность и адаптивность раннеспелых сортов картофеля в лесостепи Северного Зауралья. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2021;(1(62)):68–76. DOI: <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-68-76> EDN: EVTVTK
10. Цёма Л. Г., Латыпова А. Л. Перспективные сорта картофеля для возделывания в условиях Пермского края. *Пермский аграрный вестник*. 2022;(3(39)):39–45. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2022_39_39 EDN: WBVKFS
11. Бакунов А. Л., Рубцов С. Л., Розенцвет О. А., Нестеров В. Н., Богданова Е. С. Параметры адаптивной способности и стабильности сортов картофеля при выращивании в неблагоприятных климатических условиях. *Аграрный научный журнал*. 2023;(12):4–9. DOI: <https://doi.org/10.28983/asi.y2023i12pp4-9> EDN: PALSVC
12. Бакунов А. Л., Дмитриева Н. Н., Рубцов С. Л., Милехин А. В. Факторы, определяющие формирование урожайности картофеля в условиях недостаточного увлажнения. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2023;(2):25–29. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262723020060> EDN: AOVQCA
13. Шабанов А. Э., Киселев А. И. Агроэкологическая оценка сортов картофеля нового поколения в условиях Центрального региона России. *Картофель и овощи*. 2021;(2):29–33. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.77.11.006> EDN: HNUKES
14. Кондратенко Е. П., Мирошина Т. А. Высокоадаптивные сорта картофеля для Кузбасса. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2022;(1(207)):23–28. DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-207-1-23-28> EDN: TXZSCJ
15. Кузьмина О. А., Сташевски З., Вологин С. Г., Гимаева Е. А., Гизатуллина А. Т. Оценка адаптивности перспективных сортов картофеля отечественной селекции в условиях республики Татарстан. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023;(2(30)):1. DOI: <https://www.doi.org/10.23649/jae.2023.2.30.001> EDN: TKNFJL

References

1. Simakov E. A., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A., Mityushkin Al-r V., Gayzatulin A. S., Salyukov S. S., Ovechkin S. V., Semenov V. A. Selection of competitive potato varieties for various purposes. *Kartofel' i ovoshchi = Potato and Vegetables*. 2023;(1):35–40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.49.99.005>
2. Zhigadlo T. E. Evaluation of improved potato cultivars according to their agronomic traits under the conditions of Murmansk Province. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selekcii = Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022;183(4):107–114. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-107-114>
3. Gerieva F. T., Revazova Z. I. The results of testing promising varieties of potatoes in the foothills Republic of north Ossetia-Alania. *Agrarny vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023;23(10):34–48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-10-34-48>
4. Banadysev S. A., Shanina E. P. Factors of competitiveness of potato breeding in Russia. *Kartofelnaya sistema*. 2023;(3):44–53. (In Russ.). URL: <https://potatosystem.ru/factory-konkurentosposobnosti-selekcii-kartofelya-v-rossii/>
5. Dobrutsкая E. G., Pivovarov V. F. The ecological role of the variety in the 21st century. *Selektsiya i semenovodstvo*. 2000;(1):10–12. (In Russ.).
6. Molyavko A. A., Zhevora S. V., Marukhlenko A. V., Borisova N. P., Torikov V. E. Adaptability of potato varieties as an important factor of sod-podzolic sandy loam soil. *Vestnik Bryanskoy GSKHA = Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2022;(1):17–23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2022-89-1-17-23>
7. Dergileva T. T., Vasilev A. A. Adaptive potential of mid-season potato varieties of Chelyabinsk selection in the conditions of the Southern Urals. *Agroprodovolstvennaya politika Rossii = Agri-Food Policy in Russia*. 2024;(1(109)):21–30. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35524/2227-0280_2024_01_21
8. Popova L. A., Golovina L. N., Shamanin A. A. Ecological plasticity and stability of potato varieties under conditions of the Arkhangelsk region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2021;35(4):41–44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10406>
9. Sapaga V. A. The productivity and adaptability of early ripening potato varieties in forest-steppe of Northern Trans-Ural. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2021;(1(62)):68–76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-68-76>

10. Tsema L. G., Latypova A. L. Promising potato varieties for cultivation under the conditions of the Perm kray. *Permsky agrarny vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2022;(3(39)):39–45. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2022_39_39
11. Bakunov A. L., Rubtsov S. L., Rozentsvet O. A., Nesterov V. N., Bogdanova E. S. Parameters of adaptive capacity and stability of potato varieties when grown in unfavorable climatic conditions. *Agrarny nauchny zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(12):4–9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp4-9>
12. Bakunov A. L., Dmitrieva N. N., Rubtsov S. L., Milekhin A. V. Factors determining the formation of potato yield under conditions of insufficient moisture. *Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka*. 2023;(2):25–29. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262723020060>
13. Shabanov A. E., Kiselev A. I. Agro-ecological assessment of new generation potato varieties in the conditions of the Central Russia. *Kartofel i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2021;(2):29–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.77.11.006>
14. Kondratenko E. P., Miroshina T. A. Highly adaptive potato varieties for Kuzbass. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2022;(1(207)):23–28. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-207-1-23-28>
15. Kuzminova O. A., Stashevski Z., Vologin S. G., Gimaeva E. A., Gizatullina A. T. An evaluation of adaptability of perspective potato varieties of domestic selection in the republic of Tatarstan. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023;(2(30)):1. (In Russ.). DOI: <https://www.doi.org/10.23649/jae.2023.2.30.001>

Сведения об авторах

✉ **Лыскова Ирина Владимировна**, кандидат с.-х. наук, ст. научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1079-3513>

Башлакова Ольга Николаевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, 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: <https://orcid.org/0000-0001-9013-1861>

Пермяков Павел Васильевич, младший научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д.3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7494-1036>

Кратюк Елена Ивановна, агроном-семеновод, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д.3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4795-4683>

Information about the authors

✉ **Irina V. Lyskova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1079-3513>

Olga N. Bashlakova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, 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: <https://orcid.org/0000-0001-9013-1861>

Pavel V. Permyakov, junior researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7494-1036>

Elena I. Kratyuk, agronomist-seed grower, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4795-4683>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Хозяйственно полезные признаки картофеля, позволяющие прогнозировать его урожайность

© 2025. Е. П. Шанина, Д. А. Оберюхтин✉

ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург,
Российская Федерация

Научные исследования по селекции картофеля направлены на повышение урожайности и устойчивости сортов к болезням и вредителям, улучшение качества продукции. На основе полученных результатов разрабатываются статистические модели, которые позволяют не только создать систему прогнозирования исследуемого параметра, но и объяснить вклад отдельных признаков, формирующих этот параметр. Цель исследования – определить оптимальную модель прогноза урожайности картофеля на основе анализа хозяйственно полезных признаков (средний вес клубня в кусте; количество клубней в кусте; содержание в клубнях крахмала, протеина, общих и редуцирующих сахаров, витамина С и нитратов) 100 сортов картофеля урожая 2024 г. (Свердловская область). В настоящей работе составлена модель линейной регрессии урожайности картофеля (т/га) с тремя предикторами – средний вес клубня (г), количество клубней (шт.) и натуральный логарифм содержания нитратов в клубне (мг/кг). Полученная модель смогла предсказать 77,9 % дисперсии данных ($R^2 = 0,785$, $R^2_{adj} = 0,779$, $p < 0,001$), а степень соответствия модели оказалась идеальной, поскольку значение средней абсолютной ошибки MAPE < 10 %. Проверка предположений модели регрессии проводили по алгоритму LINE: линейность, независимость, нормальность, однородность. Этот алгоритм доказал адекватность полученной модели. Благодаря методу линейной регрессии показано, что при увеличении среднего веса товарного клубня на 1 г и количества клубней в кусте на 1 шт. урожайность картофеля возрастает соответственно на 0,314 и 2,386 т/га. Однако при повышении концентрации нитратов на каждую единицу натурального логарифма урожайность снижается на 3,63 т/га. В то время как вес клубня и количество клубней имели функциональную связь с урожайностью, содержание нитратов имело лишь косвенное отношение. По литературным данным, концентрация нитратов в клубнях картофеля в конце уборки урожая представляет «итоговую оценку» эффективности использования азота конкретным сортом в течение всего вегетативного периода. Полученной моделью обусловлены критерии отбора при селекции высокопродуктивных сортов картофеля: отбор генотипов с большим количеством и весом клубней, низким содержанием остаточных нитратов в клубнях при стандартном режиме азотного питания.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., урожай картофеля, нитраты, климатические условия, модель линейной регрессии, статистическая модель, агрономия

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № 0532-2021-0008).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шанина Е. П., Оберюхтин Д. А. Хозяйственно полезные признаки картофеля, позволяющие прогнозировать его урожайность. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1226–1240.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1226-1240>

Поступила: 29.04.2025

Принята к публикации: 16.10.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Agronomic traits of potato enabling yield prediction

© 2025. Elena P. Shanina, Denis A. Oberiuhtin✉

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

Scientific research on potato breeding is aimed at increasing crop yields and the resistance of cultivars to diseases and pests, as well as improving product quality. Based on the results obtained, statistical models are developed that allow not only to create a system for forecasting the parameter under study, but also to explain the contribution of individual traits that form this parameter. The aim of the study is to determine the optimal model for forecasting potato yield based on the analysis of agronomic traits (average tuber weight per a potato plant; the number of tubers per a plant; content of starch, protein, total and reducing sugars, vitamin C and nitrates in tubers) of 100 potato cultivars harvested in 2024 (Sverdlovsk Region). In this work, a linear regression model of potato yield (t/ha) was developed with three predictors: average tuber weight (g), the number of tubers (units) and natural logarithm of nitrate content in tubers (mg/kg). The resulting model was able to predict 77.9 % of the data dispersion ($R^2 = 0.785$, $R^2_{adj} = 0.779$, $p < 0.001$), by this the degree of model fit was ideal, since the mean absolute error MAPE was less than 10%. The regression model assumptions were tested using the LINE algorithm: linearity, independence,

normality, homogeneity. This algorithm proved the adequacy of the obtained model. Using the linear regression method, it was shown that with an increase in the average weight of marketable tubers by 1 g and the number of tubers by 1 unit, potato yield increased by 0.314 and 2.386 t/ha, respectively. However, with an increase in nitrate concentration per unit of natural logarithm, the yield decreased by 3.63 t/ha. While tuber weight and tuber number had a functional relationship with the yield, nitrate content had only an indirect relationship. According to the literature, the nitrate concentration in potato tubers at the end of the harvest represents a «final assessment» of the efficiency of nitrogen use by a particular cultivar throughout the growing season. The model obtained determines the selection criteria for breeding high-yielding potato cultivars: selection of genotypes with a large number and weight of tubers, low residual nitrate content in tubers under standard nitrogen nutrition conditions.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., potato yield, nitrates, climatic conditions, linear regression model, statistical model, agronomy

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 Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 0532-2021-0008).

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: Shanina E. P., Oberiukhtin D. A. Agronomic traits of potato enabling yield prediction. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2025;26(6):1226–1240. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1226-1240>

Received: 29.04.2025

Accepted for publication: 16.10.2025

Published online: 26.12.2025

Картофель – это один из основных источников питания для большого количества людей во всем мире [1]. Точное прогнозирование урожайности картофеля позволяет рационально использовать оборудование и методы возделывания, обеспечивая тем самым продовольственную безопасность регионов страны. Достижение целей управляемого возделывания культурных растений лежит через цифровизацию – новый этап развития сельского хозяйства [2]. Существующие подходы моделирования условий урожайности основаны на гео-климатических данных: температура воздуха, атмосферные осадки, суммарная инсоляция, кислотность и минеральный состав почв [3, 4, 5], которые обрабатываются с помощью методов множественной линейной регрессии [3, 5], машинного обучения [4] и нейронных сетей [5, 6].

Однако при выращивании картофеля селекционеры отслеживают не только агроклиматические условия, но и хозяйственно полезные признаки выводимых культур – скороспелость, урожайность, товарность клубней, количество и масса клубней на куст [7], содержание белка, сахаров, витамина С, нитратов [8]. Эти данные могут быть использованы для анализа уровня получаемой урожайности картофеля и корректировки программ селекции. Безусловно, сложные статистические методы машинного обучения и нейронных сетей позволяют с высокой точностью прогнозировать интересующий параметр [9], но объяснить полученные результаты с помощью современных знаний физиологии

и биохимии сельскохозяйственных растений бывает затруднительно. Поэтому использование более простых методов исследования – методов линейной регрессии позволяет не только достоверно прогнозировать интересующие величины, но и понимать логику полученных результатов.

Цель исследования – определить оптимальную модель прогноза урожайности на основе анализа хозяйственно полезных признаков сортов картофеля.

Научная новизна – установлено, что концентрация нитратов в клубнях картофеля после сбора урожая является надежным предиктором урожайности вместе со средним весом клубня и количеством клубней на куст.

Материал и методы. Результаты исследований получены на основе полевых экспериментов 2024 г. в Уральском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук».

Исследования проводили на дерново-среднеподзолистой почве со следующей характеристикой: удельная масса – 2,1–2,6 г/см³; объёмная масса – 1,1–1,3 г/см³; гумус – 4,86 %; рН_{сол.} – 5,29; кислотность гидролитическая – 11,5 мг-экв/100 г; сумма поглощённых оснований – 17,9 мг-экв/100 г; азот общий – 0,20 %; азот легкогидролизуемый – 130 мг/кг; фосфор подвижный – 262 мг/кг и калий обменный – 146 мг/кг почвы.

Опыты заложены в соответствии с общепринятыми методиками^{1,2} (по 20 растений каждого сорта в трехкратной повторности). Количество сортов раннеспелой группы – 35, среднеранней – 46, среднеспелой – 19 (всего 100 сортов). Опыт размещен в действующем трёхпольном севообороте, предшественник картофеля – сидеральный пар (клевер 1 г. п.).

Посадку картофеля проводили при физиологической спелости почвы – 15–17 мая; уборку – 27–31 августа. Внесение удобрений – под весеннюю культивацию в дозе N₈₀K₇₀P₇₀. Средства защиты: Титус (50 г/га), Лазурит (200 мл/га), Эспера (150 мл/га), Ширлан (0,4 л/га), обработка растений картофеля во время вегетации.

Урожай и его структуру при уборке учитывали взвешиванием, крахмал в лабораторных условиях – по удельному весу³. В аналитической лаборатории проведена оценка биохимических показателей: содержание азота по Кьельдалю⁴, сахаров – эбулиостатически⁵, аскорбиновая кислота (витамин С) – по Мурри⁶, нитраты – ионометрическим методом⁷.

Метеоусловия, включающие температуру воздуха и осадки, фиксировали по декадам каждого месяца с мая по сентябрь. Из полученных данных строили комбинированные диаграммы в Microsoft Excel 2024.

Статистический анализ проводили с помощью программного обеспечения Jamovi⁸. В качестве мер центральной тенденции использовали величины медианы (median) и среднего (mean). Для описания разброса данных определяли минимальные (min) и максимальные (max) значения, стандартное отклонение (SD). В качестве показателя асимметрии данных использовали коэффициент асимметрии (As). Однородность данных определяли по коэффициенту

вариации (CV), который рассчитывали по следующей формуле:

$$CV = \frac{SD}{\text{mean}}.$$

Распределение данных оценивали с помощью критерия Шапиро-Уилка (Shapiro-Wilk test). В случае, если полученное значение p (p-value) было больше порогового 0,05, то считали, что данные распределены нормально; в противном случае – распределение данных отличное от нормального. Для визуализации показателей строили гистограмму распределения и график квантиль-квантиль (QQ-plot). Формирование колоколообразной формы гистограммы распределения и положение точек вдоль одной прямой на QQ-plot дополнительно подтверждают гипотезу о нормальном распределении данных.

С целью определения экстремальных значений в данных пользовались правилом Тьюке (правило «ящик с усами»)⁹. Для этого у каждого показателя рассчитывали квартиль 1 (Q₁) и квартиль 3 (Q₃), а также разницу между двумя квартилями (межквартильный размах, IQR). По формуле Тьюке экстремальными значениями считаются все значения, выходящие из диапазона:

$$[Q_1 - 1,5 * IQR; IQR * 1,5 + Q_3].$$

Поиск взаимосвязей между исследуемыми признаками проводили с помощью корреляционного анализа. Для этого строили диаграммы рассеяния и рассчитывали коэффициент корреляции Пирсона. Качественную оценку силы связи коэффициента корреляции определяли по шкале Чеддока: от 0 до 0,3 – очень слабая; от 0,3 до 0,5 – слабая; от 0,5 до 0,7 – средняя; от 0,7 до 0,9 – сильная; от 0,9 до 1,0 – очень сильная.

¹Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: В 7 вып. Госкомиссия по сортоиспытанию с.-х. культур при МСХ СССР. Вып. 4: Картофель, овощные и бахчевые культуры. Разраб. акад. ВАСХНИЛ Д. Д. Брежнев, агр., кандидаты с.-х. наук В. А. Бакулина, Н. К. Давидич и др. М.: Колос, 1975. 182 с.

²Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля. Сост. акад. С. М. Букасов, д-ра с.-х. наук А. Г. Зыкина, А. Я. Камераз и др. Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина, ВНИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова. Л.: ВИР, 1976. 27 с.

³ГОСТ 7194-81. Картофель свежий. Правила приемки и методы определения качества. М.: Стандартинформ, 2010. 13 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294822/4294822617.pdf>

⁴ГОСТ 13496.4-2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. М.: Стандартинформ, 2019. 20 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293727/4293727957.pdf>

⁵ГОСТ 8756.13-87. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров. М.: Стандартинформ, 2010. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294821/4294821427.pdf>

⁶ГОСТ 24556-89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294829/4294829760.pdf>

⁷ГОСТ 29270-95. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения нитратов. М.: Стандартинформ, 2010. 15 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294825/4294825356.pdf>

⁸The jamovi project. Jamovi. (Version 2.6 – 2024). [Computer Software]. Retrieved from: <https://www.jamovi.org>

⁹Гайдышев И. П. Моделирование стохастических и детерминированных систем: руководство пользователя программы AtteStat. Курган, 2015. С. 435–436.

Знак коэффициента корреляции говорит о направлении связи: положительный указывает на прямо пропорциональную зависимость, отрицательный – на обратно пропорциональную. Корреляцию считали достоверной при значении $p < 0,05$.

Данные, имеющие достоверную корреляцию, включали в регрессионный анализ. В модели линейной регрессии методом наименьших квадратов для каждого предиктора рассчитывали вес, стандартную ошибку среднего (SE), 95%-й доверительный интервал, t-значение статистики, p-значение. Предиктор считали достоверным при значении $p < 0,05$. Для получившейся модели определяли коэффициент детерминации R^2 и скорректированный коэффициент детерминации R^2_{adj} , показывающие какой процент дисперсии данных способна объяснить текущая модель.

Проверку предположений модели регрессии проводили по алгоритму LINE: linearity (линейность), independence (независимость), normality (нормальность), equality or homogeneity (качество или однородность). Проверку на нормальность остатков проводили с помощью построения графика QQ-plot и расчёта статистики Колмогорова-Смирнова. Дополнительно проводили проверку на коллинеарность по расчёту коэффициента увеличения дисперсии VIF (variance inflation factor). В биологических исследованиях пороговое значение VIF установлено на уровне 2.

Для расчёта ошибки аппроксимации использовали формулу средней абсолютной ошибки (Mean absolute percentage error, MAPE), выраженной в %:

$$MAPE = 100 \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|,$$

где A_t – фактическое значение, F_t – прогнозируемое значение, n – количество наблюдений.

По версии¹⁰, если значение MAPE менее 10 %, то степень соответствия модели идеальна, диапазон от 10 до 20 % указывает на хорошее соответствие, от 20 до 50 % – на приемлемый уровень, выше 50 % – означает низкую точность модели и не допускается к практическому использованию.

Результаты и их обсуждение. Период вегетации картофеля в 2024 г. характеризовался резкими колебаниями температуры воздуха и неравномерным распределением осадков (рис. 1, 2). В мае температурные показатели воздуха находились на уровне среднемноголетних данных, но при избыточном увлажнении, что привело к поздней посадке картофеля – с 29 мая. В июне – июле осадков было достаточно для формирования необходимого количества клубней, но длительное переувлажнение способствовало появлению фитофтороза – с 27 июля и далее наблюдали эпифитотию данного заболевания, к началу августа ботва восприимчивых сортов была полностью уничтожена.

Описательная статистика исходных данных по сортам картофеля, включенным в исследование, приведена в таблице 1.

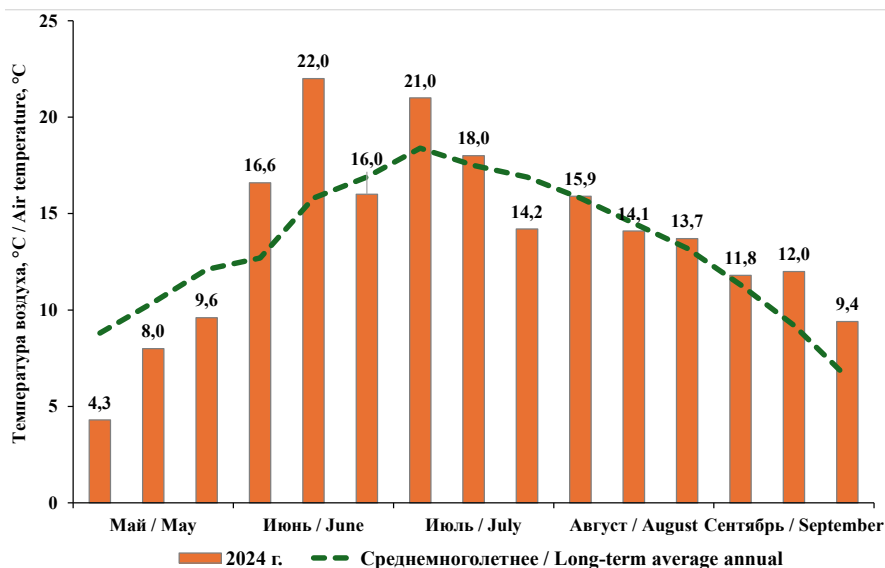


Рис. 1. Средние значения температуры воздуха по декадам в период вегетации картофеля (г. Екатеринбург, 2024 г.) /

Fig 1. Average air temperature values by decades during the potato growing season (Yekaterinburg, 2024)

¹⁰Montaño Moreno J. J., Palmer Pol A., Sesé Abad A., Cajal Blasco B. Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*. 2013;25(4):500–506. DOI: <https://doi.org/10.7334/psicothema2013.23>

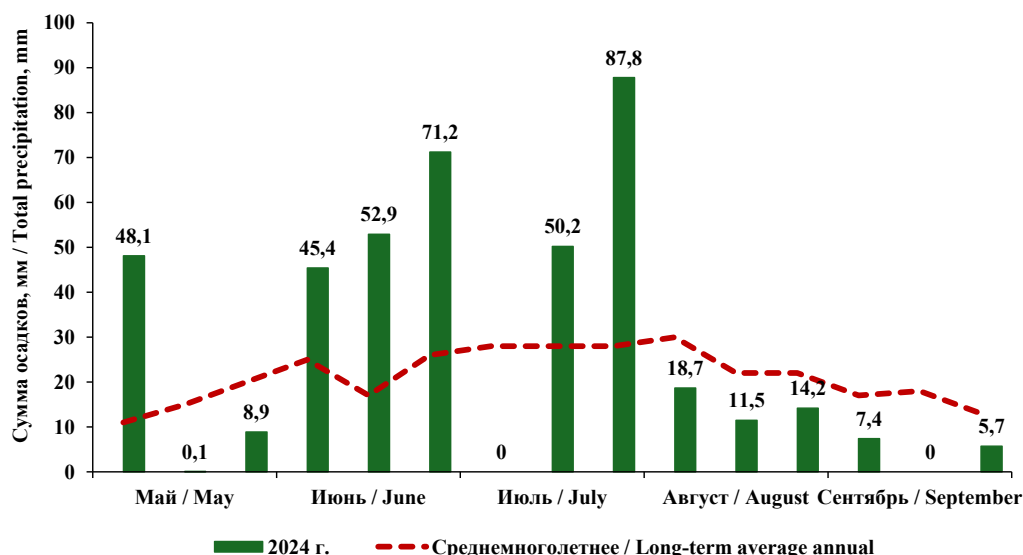


Рис. 2. Сумма осадков по декадам в период вегетации картофеля (г. Екатеринбург, 2024 г.) /

Fig. 2. Total precipitation by decades during the potato growing season (Yekaterinburg, 2024)

Таблица 1 – Описательная статистика хозяйственно полезных признаков сортов картофеля, выращенных в 2024 г. (n = 100) /

Table 1 – Descriptive statistics of agronomic traits of potato cultivars grown in 2024 (n = 100)

Параметр / Parameter	Min	Max	Median	Mean	SD	CV	As	Shapiro-Wilk test, p-value
Урожайность, т/га / Yield, t/ha	16,6	64,1	34,9	35,6	8,46	0,24	0,417	0,366
Средний вес клубня в кусте, г / Average tuber weight per a plant, g	52,0	144,0	90,0	94,5	20,4	0,22	0,284	0,291
Количество клубней в кусте, шт. / Tuber quantity per a plant, units	4,0	17,8	10,3	10,6	2,47	0,23	0,425	0,085
Крахмал, % / Starch, %	9,40	17,00	12,7	12,7	1,82	0,14	0,242	0,055
Протеин, % / Protein, %	1,06	2,94	1,88	1,92	0,421	0,22	0,512	0,019
Общих сахаров, % / Total sugar, %	0,13	0,83	0,32	0,363	0,15	0,41	1,17	< 0,001
Редуцирующих сахаров, % / Reducing sugar, %	0,00	0,39	0,140	0,144	0,0753	0,52	0,0574	0,007
Витамин С, мг% / Vitamin C, mg%	11,4	61,6	15,6	17,9	8,72	0,49	3,61	< 0,001
Нитраты, мг/кг / Nitrates, mg/kg	35,1	189,0	88,3	91,6	32,3	0,35	0,625	0,016

Примечания: Min – минимальное значение в выборке, Max – максимальное значение в выборке, Median – медиана, Mean – среднее значение, SD – стандартное отклонение, CV – коэффициент вариации (SD/Mean), As – асимметрия, Shapiro-Wilk test – тест Шапиро-Уилка /

Notes: Min – minimum value in the sample, Max – maximum value in the sample, Mean – average value, SD – standard deviation, CV – coefficient of variation (SD/Mean), As – asymmetry

Из данных таблицы 1 видно, что исходные значения урожайности, среднего веса клубня, количества клубней и содержания крахмала имеют распределение данных, близкое к нормальному (Shapiro-Wilk test $p > 0,05$; median \approx mean), в то время как содержание протеина, общих сахаров, редуцирующих сахаров, витамина С, нитратов имеют распределение, отличное от нормального (Shapiro-Wilk test $p < 0,05$). Также исходные данные урожайности, среднего веса клубня, количества клубней в кусте,

крахмала, протеина свидетельствуют об однородности ($CV < 0,3$), тогда как данные по содержанию общих и редуцирующих сахаров, витамина С, нитратов не выполняли этого требования ($CV > 0,3$). Наконец, данные об урожайности, среднем весе клубня, количестве клубней, содержании крахмала, редуцирующих сахаров отличались умеренной правосторонней асимметрией ($0 < As < 0,5$), данные по протеину, общим сахарам, витамину С, нитратам – существенной правосторонней асимметрией ($As > 0,5$).

Для обнаружения данных, сильно отклоняющихся от общего массива наблюдений, рассчитаны Q_1 , Q_3 , IQR, а также определены границы допустимых значений: нижняя (Low. Ref.) и верхняя (Upp. Ref.). Значения вне

полученного диапазона считаются экстремальными. Благодаря такому подходу из дальнейшего анализа были исключены 19 наблюдений. Результаты проведенных расчётов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчёт интервала для исключения выбросов / Table 2 – Calculation of the interval to exclude outliers

Параметр / Parameter	Q_1	Q_3	IQR	Low. Ref.	Upp. Ref.
Урожайность, т/га / Yield, t/ha	29,9	41,0	11,1	13,25	57,65
Средний вес клубня в кусте, г / Average tuber weight per a plant, g	81,8	109,0	27,5	40,55	150,25
Количество клубней в кусте, шт. / Tuber quantity per a plant, units	8,88	12,00	3,15	4,16	16,73
Крахмал, % / Starch, %	11,20	14,00	2,78	7,03	18,17
Протеин, % / Protein, %	1,63	2,19	0,56	0,79	3,03
Общих сахаров, % / Total sugar, %	0,268	0,420	0,152	0,04	0,648
Редуцирующих сахаров, % / Reducing sugar, %	0,100	0,180	0,08	-0,02	0,3
Витамин С, мг% / Vitamin C, mg%	14,3	17,9	3,65	8,83	23,38
Нитраты, мг/кг / Nitrates, mg/kg	68,1	110,0	41,4	6,0	172,1

Примечания: Q_1 – квартиль 1; Q_3 – квартиль 3; IQR – межквартильный размах; Low. Ref. – минимальное значение, ниже которого наблюдаемое значение считается экстремальным; Upp. Ref. – максимальное значение, выше которого наблюдаемое значение считается экстремальным /

Notes: Q_1 – quartile 1, Q_3 – quartile 3, IQR – Interquartile range, Low. Ref. – the minimum value below which an observed value is considered extreme; Upp. Ref. – the maximum value above which an observed value is considered extreme

После исключения наблюдений с экстремальными значениями изучаемые признаки

были проанализированы с помощью построения гистограмм распределения и QQ-plot (рис. 3–11).

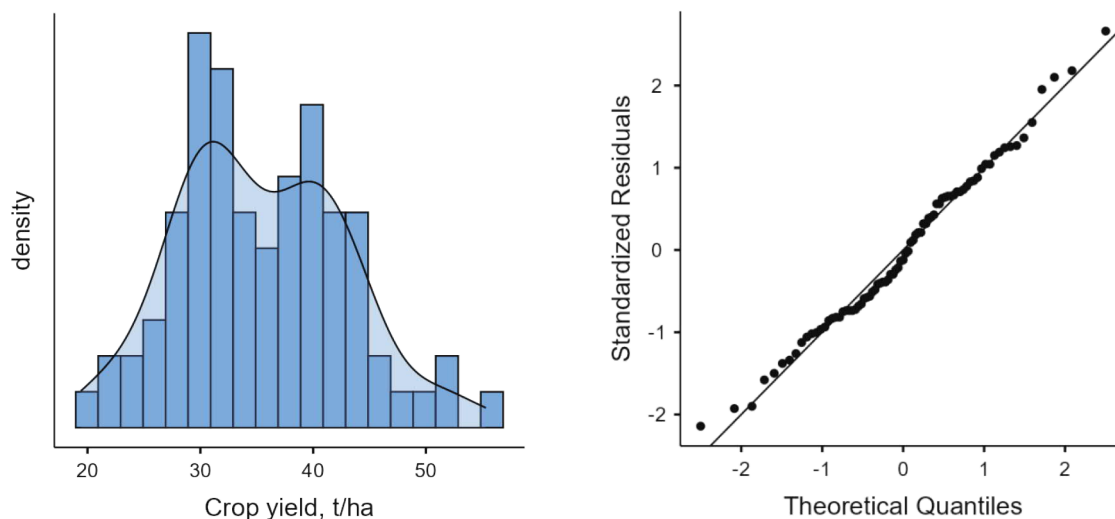


Рис. 3. Гистограмма распределения и QQ-plot для набора данных по урожайности картофеля после исключения выбросов, т/га /

Fig. 3. Distribution histogram and QQ-plot for the potato yield dataset after excluding outliers, t/ha

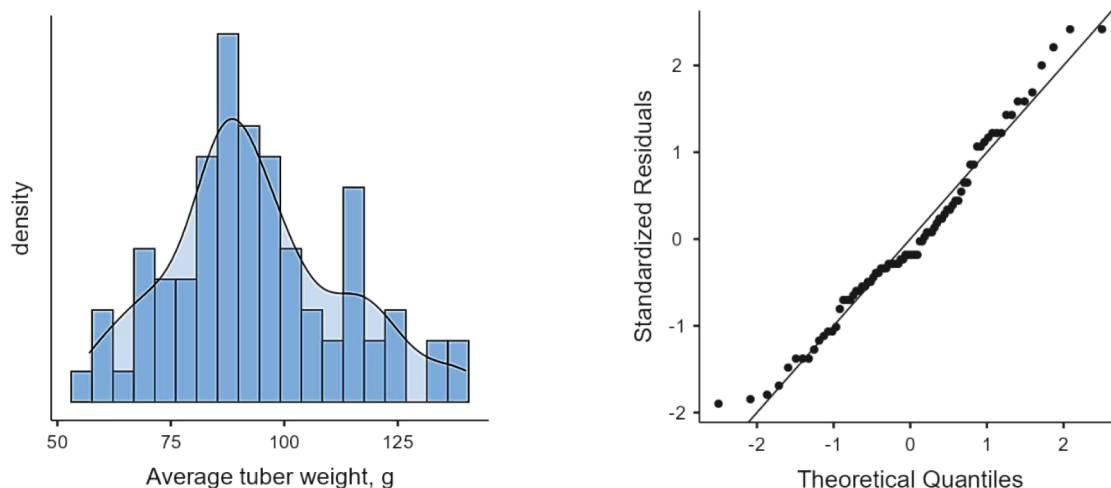


Рис. 4. Гистограмма распределения и QQ-plot для набора данных по среднему весу товарного клубня после исключения выбросов, г /

Fig. 4. Distribution histogram and QQ-plot for the average potato tuber weight dataset after excluding outliers, g

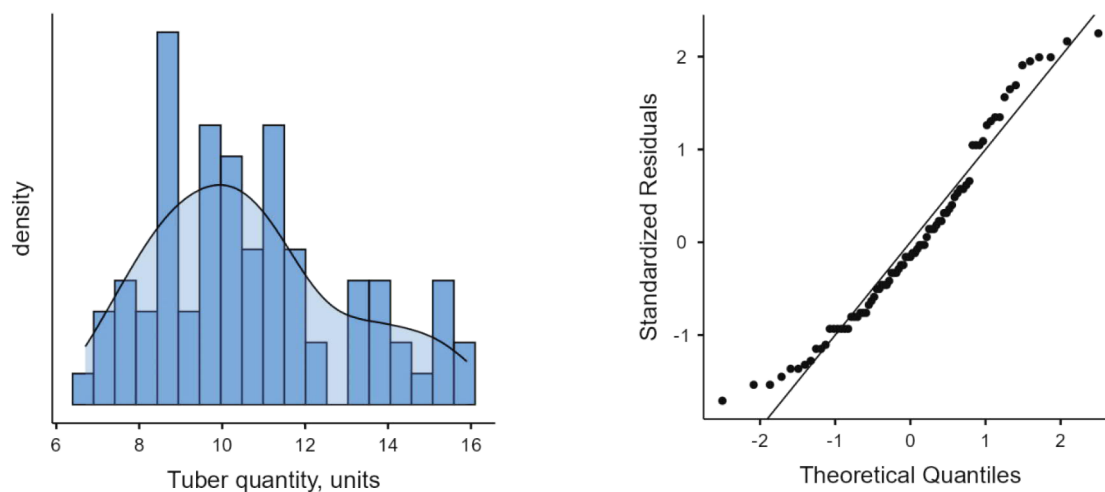


Рис. 5. Гистограмма распределения и QQ-plot для набора данных по количеству клубней в кусте после исключения выбросов, шт. /

Fig. 5. Distribution histogram and QQ-plot for the potato tuber quantity in a bush dataset after excluding outliers, units

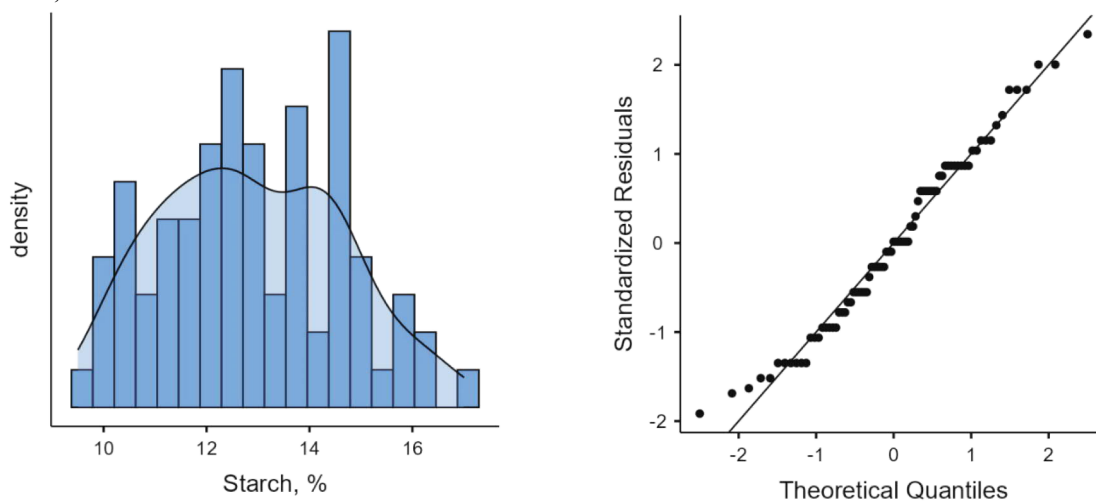


Рис. 6. Гистограмма распределения и QQ-plot для набора данных по содержанию крахмала в клубнях картофеля после исключения выбросов, % /

Fig. 6. Distribution histogram and QQ-plot for the potato tuber starch dataset after excluding outliers, %

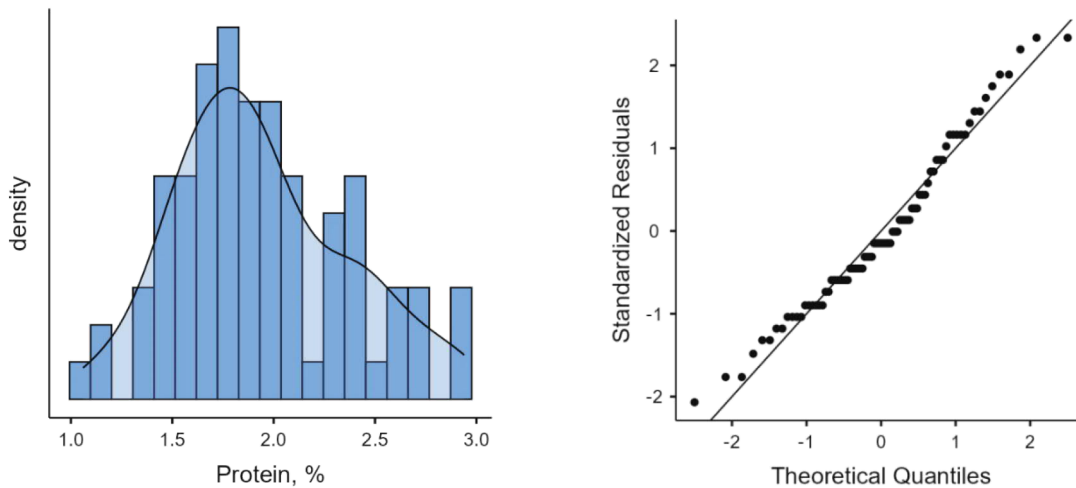


Рис. 7. Гистограмма распределения и QQ-plot для набора данных по содержанию протеина в клубнях картофеля после исключения выбросов, % /

Fig. 7. Distribution histogram and QQ-plot for the potato tuber protein dataset after excluding outliers, %

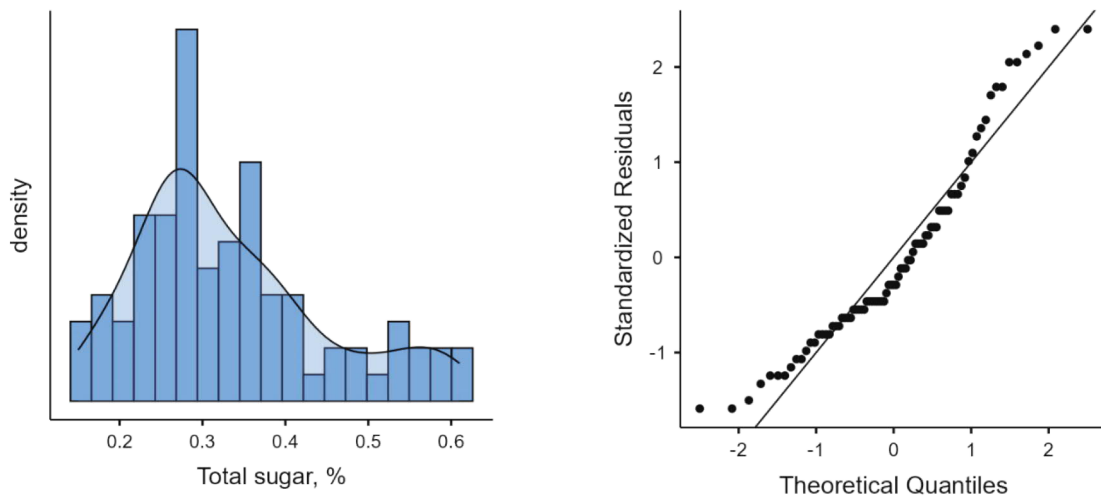


Рис. 8. Гистограмма распределения и QQ-plot для набора данных по содержанию общих сахаров в клубнях картофеля после исключения выбросов, % /

Fig. 8. Distribution histogram and QQ-plot for the potato tuber total sugar dataset after excluding outliers, %

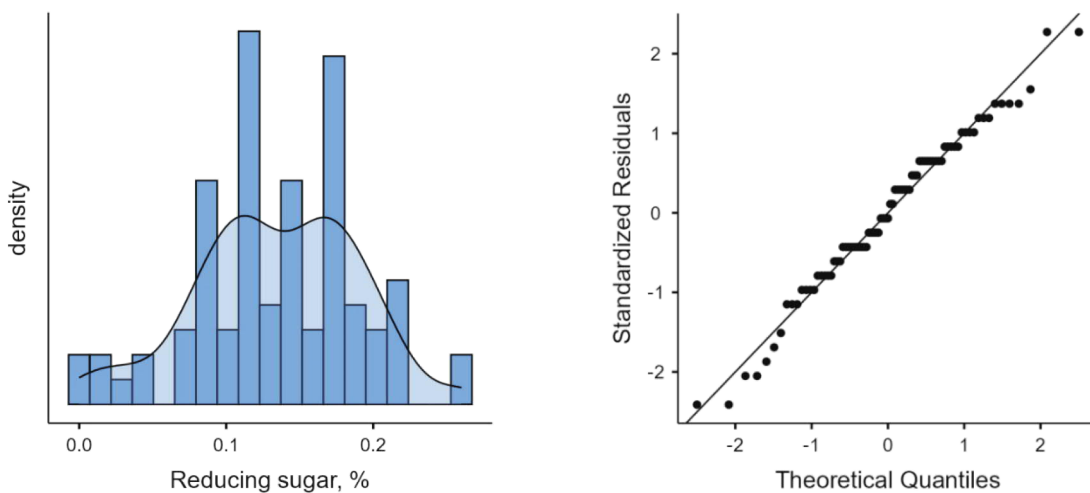


Рис. 9. Гистограмма распределения и QQ-plot для набора данных по содержанию редуцирующих сахаров в клубнях картофеля после исключения выбросов, % /

Fig. 9. Distribution histogram and QQ-plot for the potato tuber reducing sugar dataset after excluding outliers, %

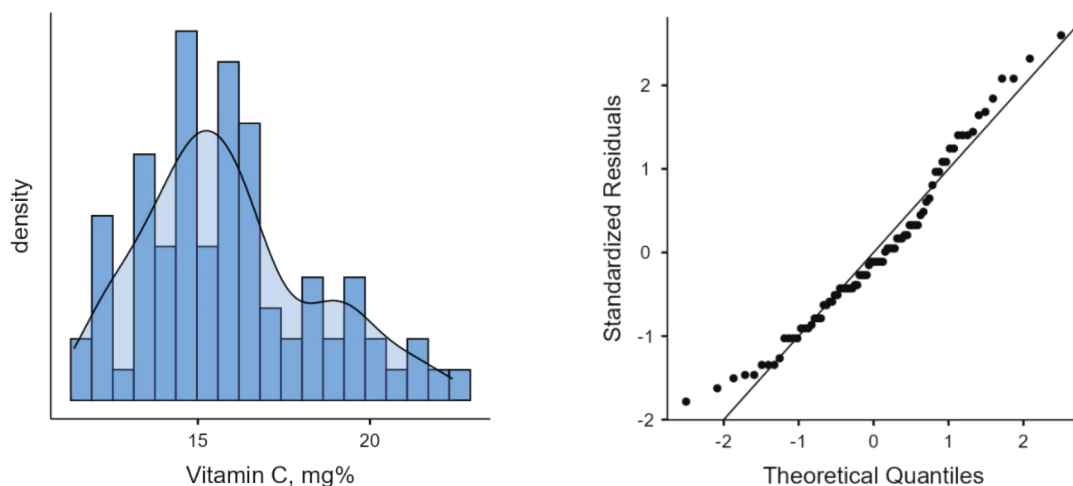


Рис. 10. Гистограмма распределения и QQ-plot для набора данных по содержанию витамина С в клубнях картофеля после исключения выбросов, мг% /

Fig. 10. Distribution histogram and QQ-plot for the potato tuber vitamin C dataset after excluding outliers, mg%

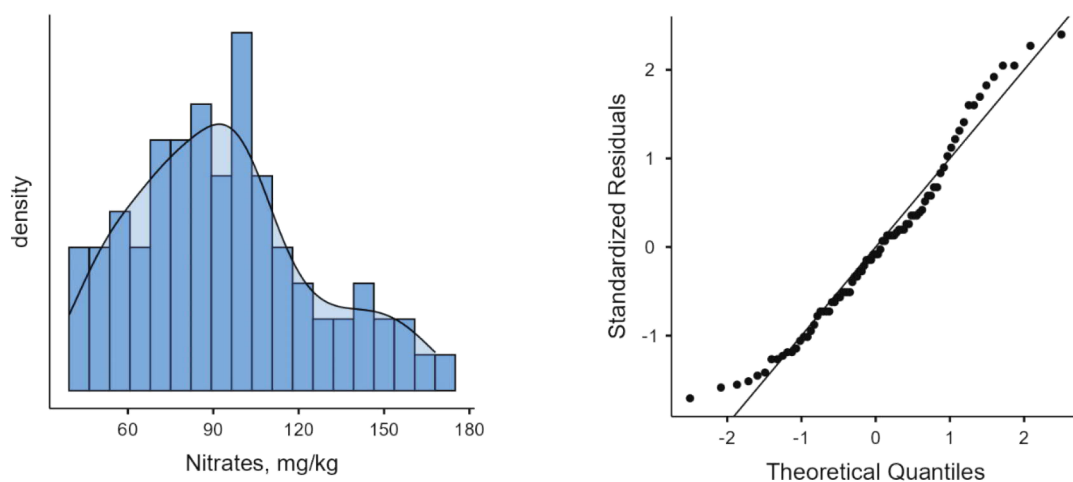


Рис. 11. Гистограмма распределения и QQ-plot для набора данных по содержанию нитратов в клубнях картофеля после исключения выбросов, мг/кг /

Fig. 11. Distribution histogram and QQ-plot for the potato tuber nitrates (mg/kg) dataset after excluding outliers, mg/kg

Из рисунков видно, что форма распределения данных на гистограмме, близкая к нормальной (колоколообразной), была практически у всех признаков, за исключением урожайности (рис. 3), у которой наблюдалось расщепление, в результате чего форма графика стала двугорбой. На графиках QQ-plot у исследуемых признаков большинство точек лежит на одной прямой. Все это подтверждает допущение о распределении данных, близком к нормальному, несмотря на то что проведенный тест Шапиро-Уилка не подтвердил этого допущения в отношении протеина, общих сахаров, редуцирующих сахаров, витамина С, нитратов. Предполагается, что тест Шапиро-Уилка не смог подтвердить нормальность данных ввиду асимметрии (табл. 1).

Корреляционный анализ по методу Пирсона показал, что урожайность прямо коррелирует

со средним весом клубня ($r = 0,570$, $p < 0,001$), количеством клубней ($r = 0,450$, $p < 0,001$) и обратно коррелирует с содержанием в клубнях нитратов ($r = -0,280$, $p < 0,05$). Результаты отражены на рисунке 12, диаграмма рассеяния – на рисунке 13. С другими признаками корреляции были слабыми и незначимыми.

После того, как были отобраны признаки, с которыми может быть взаимосвязана урожайность, приступили к построению статистической модели с помощью линейной регрессии. Значения урожайности, среднего веса товарного клубня и количества клубней брали в исходных величинах, а из значений нитратов извлекали натуральный логарифм (Ln). Результаты вычисленных коэффициентов линейной регрессии приведены в таблице 3.

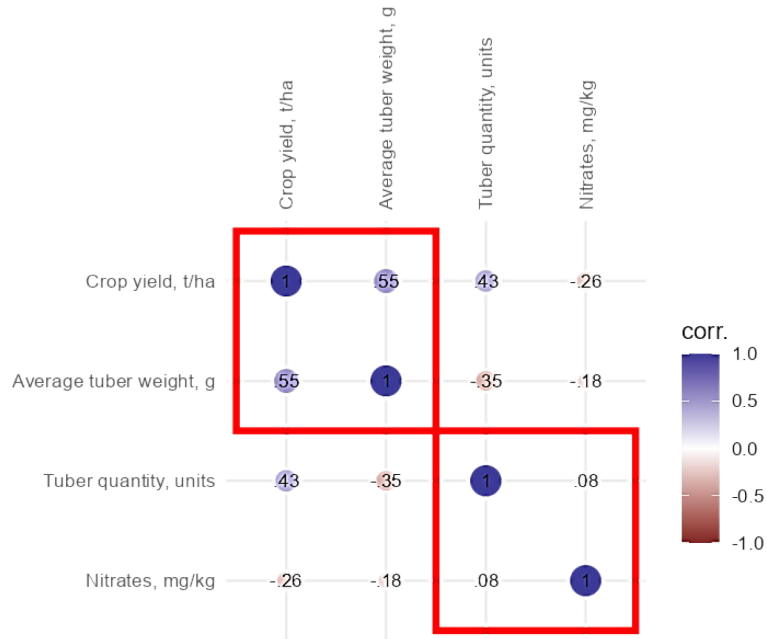


Рис. 12. Корреляционная матрица зависимости урожайности картофеля от среднего веса клубня, количества клубней в кусте и содержания в них нитратов /
Fig. 12. Correlation matrix of potato crop yield dependence on average tuber weight, tuber quantity and nitrates content

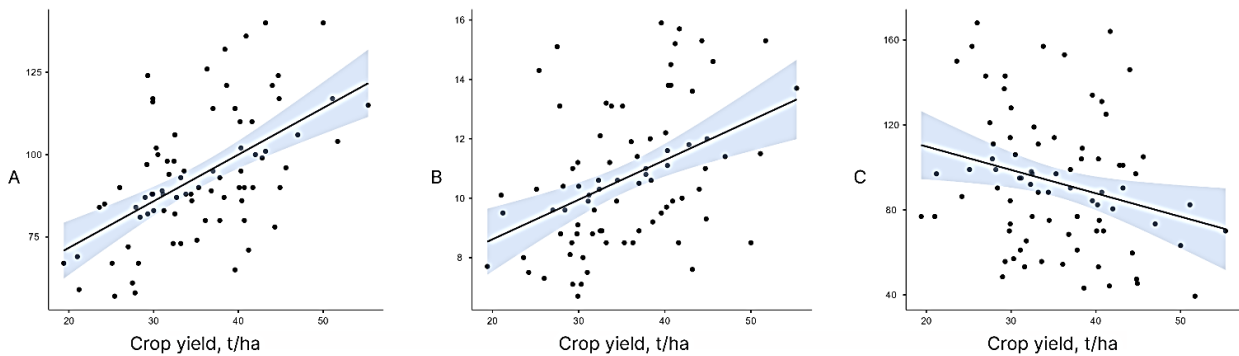


Рис. 13. Диаграммы рассеяния значений урожайности картофеля и среднего веса клубня (А), количества клубней (В), содержания нитратов в клубнях (С) /
Fig. 13. Scatterplots of values of potato yield and average tuber weight (A), tuber quantity (B), nitrates content (C)

Таблица 3 – Коэффициенты линейной регрессии в модели прогнозирования урожайности картофеля /
Table 3 – Linear regression coefficients in the potato yield forecasting model

Предиктор / Predictor	Вес (β) / Estimate (β)	SE	95%-ный ДИ веса / 95% CI of estimate		t	p-value
			нижний / lower	верхний / upper		
Константа / Intercept	-3,236	6,3870	-15,914	9,442	-0,507	0,614
Средний вес товарного клубня / Average tuber weight	0,314	0,0213	0,272	0,356	14,770	<0,001
Количество клубней в кусте / Tuber quantity	2,386	0,1708	2,047	2,725	13,967	<0,001
Ln (нитраты) / Natural log of nitrates	-3,630	1,1426	-5,898	-1,362	-3,177	0,002

Примечания: SE – стандартная ошибка; t – значение t-статистики; ДИ – доверительный интервал /
Notes: SE – standard error, t – t-value of test; CI – confidence interval

Иначе говоря, модель линейной регрессии можно представить следующим образом:

$$Y = 0.314 * M + 2.386 * N - 3.63 * \ln(\text{NO}_3) - 3.236,$$

где Y – урожайность, т/га; M – масса среднего товарного клубня, г; N – количество клубней, шт.; NO₃ – нитраты, мг/кг.

Модель показывает, что при увеличении среднего веса товарного клубня на 1 г урожайность возрастает на 0,314 т/га, при увеличении количества клубней в кусте на 1 шт. урожайность возрастает на 2,386 т/га, а при увеличении концентрации нитратов на каждую единицу натурального логарифма урожайность снижается на 3,63 т/га.

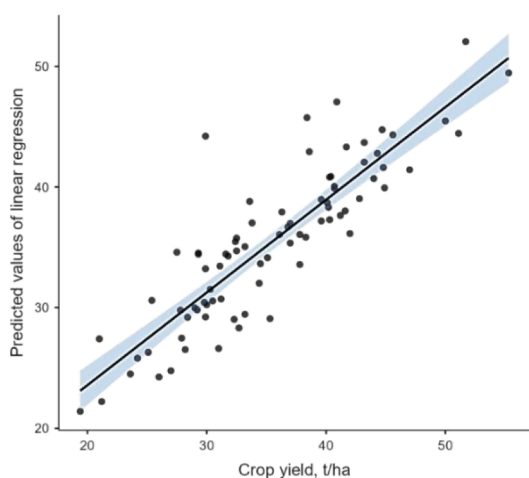


Рис. 14. Диаграмма рассеяния фактических значений урожайности (по оси абсцисс) и прогнозируемых значений линейной регрессии (по оси ординат) /

Fig. 14. Scatterplot of actual values of crop yield (X-axis) and predicted values of linear regression (Y-axis)

Проверку на нормальность остатков провели с помощью построения графика QQ-plot и расчёта статистики Колмогорова-Смирнова. Из рисунка 16 видно, что остатки на большом участке протяженности QQ-plot укладываются в прямую линию, за исключением самых низких и самых высоких значений, а гистограмма имеет куполообразную форму. Статистика Колмогорова-Смирнова также указывает на допущение о нормальном распределении остатков (K-Stest = 0,0933, p = 0,348).

Для диагностики коллинеарности рассчитан показатель VIF (табл. 4). Наши предикторы не превышают порогового значения VIF (2,0), что свидетельствует об отсутствии коллинеарности среди предикторов.

Для расчёта ошибки аппроксимации использована формула средней абсолютной ошибки в процентах MAPE. Для нашей модели

Полученная модель способна значимо предсказать 77,9 % дисперсии данных ($R^2 = 0,785$, $R^2_{adj} = 0,779$, $p < 0,001$).

Для проверки линейности и гомогенности полученной модели построили диаграмму рассеяния фактических значений урожайности и прогнозируемых значений линейной регрессии (рис. 14), которая свидетельствует о наличии линейной взаимосвязи. Дополнительно построили диаграмму рассеяния прогнозируемых значений линейной регрессии и остатков линейной регрессии (разница между предсказываемым значением и реальным) (рис. 15), показывающую, что линия регрессии близка к прямой – «средний остаток» для всех прогнозируемых значений более или менее одинаков (гомогенен).

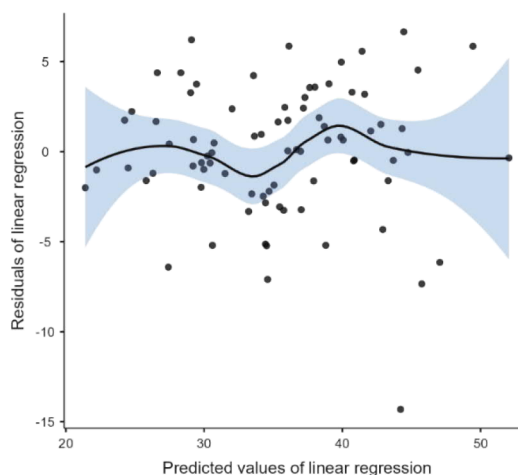


Рис. 15. Диаграмма рассеяния прогнозируемых значений линейной регрессии (по оси абсцисс) и остатков линейной регрессии (по оси ординат) /

Fig. 15. Scatterplot of predicted values of linear regression (X-axis) and residuals of linear regression (Y-axis)

линейной регрессии значение MAPE составило 8,55 %, что говорит о том, что степень соответствия модели идеальна, поскольку MAPE < 10 %. Эти результаты доказывают хорошую подгонку модели к реальному набору данных и, следовательно, открывают широкие возможности для применения.

Таблица 4 – Проверка коллинеарности / Table 4 – Collinearity check

<i>Предиктор / Predictor</i>	<i>VIF*</i>
Средний вес товарного клубня / Average tuber weight	1,17
Количество клубней / Tuber quantity	1,12
Ln (нитраты) / Natural log of nitrates	1,05

* VIF – коэффициент увеличения дисперсии / Variance inflation factor

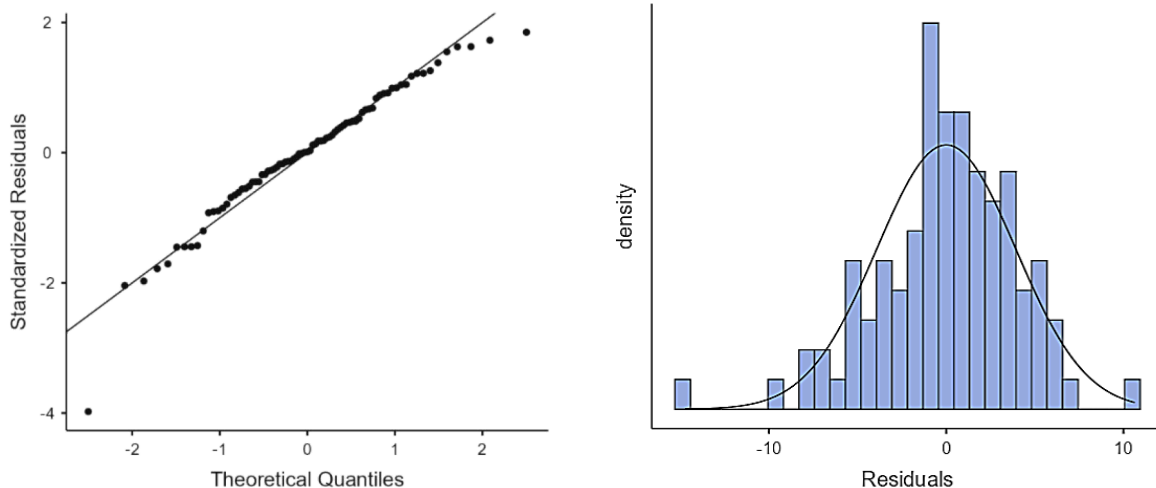


Рис. 16. График QQ-plot и гистограмма для стандартизованных остатков регрессии /
Fig. 16. QQ-plot and histogram plots for standardized regression residuals

В настоящем исследовании была разработана надежная модель множественной линейной регрессии, которая объясняет значительную часть дисперсии урожайности картофеля ($R^2 = 0,785$, $R^2_{adj} = 0,779$, $p < 0,001$) для сотни различных сортов в установленных агроклиматических условиях. Предикторы модели (средний вес клубня, количество клубней на растение и натуральный логарифм концентрации нитратов в клубне) дают важную информацию о физиологических факторах, определяющих урожайность и эффективность использования питательных веществ (табл. 3). Положительные и статистически достоверные коэффициенты для среднего веса клубня ($\beta = 0,314$; $p < 0,001$) и количества клубней на растение ($\beta = 2,386$; $p < 0,001$) относятся к хорошо известным и фундаментальным компонентам урожайности [10]. При этом, анализируя вес (β) двух предикторов среди сотни генетически разнообразных сортов, становится понятным, что количество клубней на растение – более мощный компонент урожайности, чем рост самих клубней (средний вес клубня). Это факт указывает на то, что агрономические усилия предприятий должны быть направлены на оптимизацию мероприятий по закладке клубней, что может дать большую отдачу урожая по сравнению с теми методами, которые сосредоточены исключительно на увеличении размера отдельных клубней.

Установленная в настоящем исследовании сильная отрицательная зависимость между натуральным логарифмом концентрации нитратов в клубнях при сборе урожая и общей урожайностью картофеля ($\beta = -3,630$; $p = 0,002$)

указывает на то, что после учета основных компонентов урожайности сорта с более высоким содержанием нитратов в клубнях имели более низкую урожайность. Высокая концентрация нитратов в органах хранения питательных веществ в конце вегетационного периода является хорошо известным показателем метаболической неэффективности [11]. Она представляет собой запас азота, который был поглощён растением, но не был эффективно ассимилирован в белки и нуклеиновые кислоты, необходимые для накопления биомассы и формирования урожая [11, 12]. Это исследование согласуется с принципом, согласно которому избыточное азотистое питание в конце сезона приводит к уменьшению урожая и росту зеленой части растения [13]. Наша модель эффективно количественно оценивает урожайность, связанную с этой неэффективной утилизацией азота.

Сложившиеся агроклиматические условия в текущем исследовании – плодородная почва с высоким содержанием гумуса (4,86 %) и легкогидролизуемого азота (130 мг/кг) с добавлением удобрения $N_{80}K_{70}P_{70}$ – вероятно, создали среду с достаточным содержанием азота, а для некоторых генотипов – избыточным. Эти условия идеально подходят для выявления генетических различий в эффективности использования азота (Nitrogen Use Efficiency) [14]. Результаты исследования дополняют работу К. Френковяк с соавт. (K. Frąckowiak et al.), которые продемонстрировали, что питательный статус растений в начале клубнеобразования является мощным инструментом для прогнозирования потенциальной урожайности [15]. Наши результаты представляют окончательную оценку после

сбора урожая, предполагая, что даже если азота в начале сезона достаточно для создания высокого потенциала продуктивности, этот потенциал не реализуется у сортов, которые не могут эффективно перерабатывать доступный азот в течение всего периода набора массы. Кроме того, текущая модель подтверждает обоснованность использования инструментов мониторинга азота в течение сезона, предложенных в работе [16]. Отсутствие в полученной модели данных крахмала, протеина, сахаров и витамина С не говорит об отсутствии их роли в формировании урожайности, а указывает на сложные нелинейные взаимосвязи, которые невозможно отразить в модели линейной регрессии. Более сложные методы исследования (машинное обучение, деревья решений, ансамблевые методы или нейронные сети) могут разрешить эти противоречия.

Ограничения исследования. Критическим фактором, который не был включен в регрессионную модель, может быть распределение сортов по различным классам зрелости. Он неразрывно связан с продолжительностью вегетационного периода и, следовательно, как с потенциальной урожайностью, так и с общей потребностью в азоте. Вероятно, что равномерное внесение азота было сверхоптимальным для многих раннеспелых сортов, которые имеют более короткий вегетационный период и более низкую общую потребность в азоте, что predisposes их к накоплению более высоких остаточных концентраций нитратов. Так, отрицательная корреляция между нитратами и урожайностью, наблюдаемая в настоящей модели,

может быть особенно выраженной в когорте раннеспелых сортов. Помимо этого, коэффициенты модели относятся к условиям испытания в течение одного года на одном участке и требуют проверки в различных условиях. В будущих исследованиях следует уделить приоритетное внимание повторному анализу этого набора данных с использованием анализа ковариации (ANCOVA) с включением класса зрелости в качестве категориального фактора. Такой анализ позволит количественно оценить влияние класса зрелости на урожайность и, что более важно, определить существует ли значимое взаимодействие между классом зрелости и другими предикторами, в частности концентрацией нитратов в клубнях.

Заключение. Исследование демонстрирует, что урожайность картофеля, в основном, зависит от количества и размера клубней. Концентрация нитратов в клубнях при сборе урожая служит надежным отрицательным предиктором и мощным показателем эффективности использования азота. Полученная модель предоставляет новый мощный критерий отбора сортов: помимо выявления сортов с большим количеством и весом клубней селекционные программы должны активно отбирать генотипы, демонстрирующие низкое содержание остаточных нитратов в клубнях при стандартном режиме азотного питания. Это обеспечивает прямой, количественно измеримый показатель превосходной эффективности использования азота, который является ключевой характеристикой для разработки более продуктивных и экологически устойчивых сортов.

Список литературы

1. Devaux A., Goffart J. P., Kromann P., Andrade-Piedra J., Polar V., Hareau G. The potato of the future: opportunities and challenges in sustainable agri-food systems. *Potato Research*. 2021;64(4):681–720. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4>
2. Амирова Е. Ф., Гаврильева Н. К., Григорьев А. В., Соргутов И. В. Цифровизация в сельском хозяйстве: проблемы внедрения. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021;13(6):144–155. DOI: <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-144-155> EDN: KZNVKC
3. Камышенко Г. А. Климатическая составляющая в расчете урожайности картофеля. *Природные ресурсы*. 2021;(2):14–21. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47503785> EDN: ABQQIV
4. Kuradusenge M., Hitimana E., Nanyurwimfura D., Rukundo P., Mtonga K., Mukasine A. et al. Crop yield prediction using machine learning models: case of irish potato and maize. *Agriculture*. 2023;13(1):225. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13010225>
5. Piekutowska M., Niedbała G., Piskier T., Lenartowicz T., Pilarski K., Wojciechowski T. et al. The application of multiple linear regression and artificial neural network models for yield prediction of very early potato cultivars before harvest. *Agronomy*. 2021;11(5):885. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050885>
6. Воробьев Н. И., Лысов А. К., Корнилов Т. В., Хютти А. В. Вычислительная нейросеть для обработки светоотражательных 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> EDN: KUSISD

7. Шанина Е. П., Клюкина Е. М., Беляева Н. В., Стафеева М. А., Келик Л. А., Ахметханов В. Ф. Испытание сортов картофеля различного целевого использования. *Картофель и овощи*. 2024;(1):39–43. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2024.92.35.003> EDN: VKRFOX
8. Шанина Е. П., Клюкина Е. М., Стафеева М. А., Беляева Н. В., Гончар О. Н. Сравнительный анализ сортов картофеля коллекционного питомника в зависимости от географического происхождения. *Достижения науки и техники АПК*. 2020;34(6):75–78. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10614> EDN: FYDLHG
9. Cravero A., Pardo S., Sepúlveda S., Muñoz L. Challenges to use machine learning in agricultural big data: a systematic literature review. *Agronomy*. 2022;12(3):748. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12030748>
10. Лыскова И. В., Пермяков П. В., Кратюк Е. И. Результаты изучения коллекционных сортов и новых селекционных номеров картофеля по хозяйственно полезным признакам. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(6):1019–1027. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1019-1027> EDN: UUWSBI
11. Wszelaczyńska E., Pobereźny J., Keutgen A. J., Keutgen N., Gościnną K., Milczarek D. et al. Antinutritional nitrogen compounds content in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers depending on the genotype and production system. *Agronomy*. 2022;12(10):2415. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102415>
12. Ding K., Shan Y., Wang L., Zhang Y., Tian G. Transcriptomics combined with physiological analysis and metabolomics revealed the response of potato tuber formation to nitrogen. *BMC Plant Biology*. 2024;24(1):1109. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05758-2>
13. Muleta N. D., Aga M. C. Role of nitrogen on potato production: a review. *Journal of Plant Sciences*. 2019;7(2):36–42. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.jps.20190702.11>
14. Zebarth B. J., Tai G., Tarn R., de Jong H., Milburn P. H. Nitrogen use efficiency characteristics of commercial potato cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*. 2004;84(2):589–598. DOI: <https://doi.org/10.4141/P03-050>
15. Frackowiak K., Potarzycki J., Grzebisz W., Szczepaniak W. Potato nutritional status at the onset of tuberisation – a yield prediction tool. *Plant, Soil and Environment*. 2020;66(2):86–92. DOI: <https://doi.org/10.17221/533/2019-PSE>
16. do Carmo Milagres C., Fontes P. C. R., da Silveira M. V., Moreira M. A., de Carvalho Lopes I. P. Índices de nitrogênio e modelo para prognosticar a produção de tubérculos de batata. *Revista Ceres*. 2018;(65):261–270. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201865030006>

References

1. Devaux A., Goffart J. P., Kromann P., Andrade-Piedra J., Polar V., Hareau G. The potato of the future: opportunities and challenges in sustainable agri-food systems. *Potato Research*. 2021;64(4):681–720. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4>
2. Amirova E. F., Gavrilyeva N. K., Grigoriev A. V., Sorgutov I. V. Digitalization in agriculture: problems of implementation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021;13(6):144–155. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-144-155>
3. Kamishenko G. A. Climatic component in the calculation potato yields. *Prirodnie resursi = Natural Resources*. 2021;(2):14–21. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47503785>
4. Kuradusenge M., Hitimana E., Hanyurwimfura D., Rukundo P., Mtonga K., Mukasine A. et al. Crop yield prediction using machine learning models: case of irish potato and maize. *Agriculture*. 2023;13(1):225. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13010225>
5. Piekutowska M., Niedbała G., Piskier T., Lenartowicz T., Pilarski K., Wojciechowski T. et al. The application of multiple linear regression and artificial neural network models for yield prediction of very early potato cultivars before harvest. *Agronomy*. 2021;11(5):885. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050885>
6. 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 Euro-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>
7. Shanina E. P., Klyukina E. M., Belyaeva N. V., Stafееva M. A., Kelik L. A., Akhmetkhanov V. F. Testing of potato varieties of different intended uses. *Kartofel' i ovoshchi = Potato and Vegetables*. 2024;(1):39–43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2024.92.35.003>
8. Shanina E. P., Klyukina E. M., Stafееva M. A., Belyaeva N. V., Gonchar O. N. The comparative geographical analysis of potato varieties from a collection nursery. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2020;34(6):75–78. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10614>
9. Cravero A., Pardo S., Sepúlveda S., Muñoz L. Challenges to use machine learning in agricultural big data: a systematic literature review. *Agronomy*. 2022;12(3):748. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12030748>
10. Lyskova I. V., Permyakov P. V., Kratyuk E. I. The results of study of collection cultivars and potato new breeding numbers according to agronomic traits. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(6):1019–1027. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1019-1027>

11. Wszelaczyńska E., Pobereźny J., Keutgen A. J., Keutgen N., Gościńska K., Milczarek D. et al. Antinutritional nitrogen compounds content in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers depending on the genotype and production system. *Agronomy*. 2022;12(10):2415. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102415>

12. Ding K., Shan Y., Wang L., Zhang Y., Tian G. Transcriptomics combined with physiological analysis and metabolomics revealed the response of potato tuber formation to nitrogen. *BMC Plant Biology*. 2024;24(1):1109. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05758-2>

13. Muleta N. D., Aga M. C. Role of nitrogen on potato production: a review. *Journal of Plant Sciences*. 2019;7(2):36–42. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.jps.20190702.11>

14. Zebarth B. J., Tai G., Tarn R., de Jong H., Milburn P. H. Nitrogen use efficiency characteristics of commercial potato cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*. 2004;84(2):589–598. DOI: <https://doi.org/10.4141/P03-050>

15. Frąckowiak K., Potarzycki J., Grzebisz W., Szczepaniak W. Potato nutritional status at the onset of tuberisation – a yield prediction tool. *Plant, Soil and Environment*. 2020;66(2):86–92. DOI: <https://doi.org/10.17221/533/2019-PSE>

16. do Carmo Milagres C., Fontes P. C. R., da Silveira M. V., Moreira M. A., de Carvalho Lopes I. P. Índices de nitrogênio e modelo para prognosticar a produção de tubérculos de batata. *Revista Ceres*. 2018;(65):261–270. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201865030006>

Сведения об авторах

Шанина Елена Петровна, доктор с.-х. наук, доцент, главный научный сотрудник, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Главная, д. 21, пос. Исток, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620061, e-mail: uralniishoz@list.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5818-3813>

✉ **Оберюхтин Денис Андреевич**, младший научный сотрудник, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Главная, д.21, пос. Исток, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620061, e-mail: uralniishoz@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1497-5740>, e-mail: oberuhtindenis@gmail.com

Information about the authors

Elena P. Shanina, DSc in Agriculture, associate professor, chief researcher, Ural Research Institute of Agriculture – branch of the Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Glavnaya Str., 21, village Istok, Yekaterinburg, Russian Federation, 620061, e-mail: uralniishoz@list.ru,


ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5818-3813>

✉ **Denis A. Oberiukhtin**, junior researcher, Ural Research Institute of Agriculture – branch of the Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Glavnaya Str., 21, village Istok, Yekaterinburg, Russian Federation, 620061, e-mail: uralniishoz@list.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1497-5740>, e-mail: oberuhtindenis@gmail.com

✉ – Для контактов / Corresponding author

Новые сорта томата для Юга России

© 2025. О. П. Кигашпаева , А. В. Гулин, В. Ю. Джабраилова, А. Н. Костенко
Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства
и бахчеводства – филиал ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный
центр Российской академии наук», г. Камызяк, Российская Федерация

Томат – наиболее популярная овощная культура, его плоды находят применение как в свежем, так и в переработанном виде. Для каждого вида использования продукции необходимы сорта, обладающие определенными качествами плодов. Цель исследований – изучить в питомнике конкурсного испытания новые сорта томата селекции Всероссийского НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства по комплексу хозяйственно ценных признаков. Исследования проводили в 2022–2024 гг. в условиях Астраханской обл. Объекты исследования – новые сорта томата Красный налив, Розовый шарм, Озарение (стандарты – Астраханский (с плодами округлой формы) и Торпеда (с удлиненно-сливовидными плодами). По результатам проведенного конкурсного сортоиспытания установлена высокая продуктивность и адаптивность исследуемых сортов в агроклиматических условиях Астраханской области. В ходе сравнительного анализа со стандартным сортом Астраханский в группе салатных сортов наивысшие показатели урожайности были зафиксированы у сорта Красный налив (71,6 т/га), что превысило стандарт на 1,8 т/га. Это, в совокупности с лучшим показателем товарности (97,9 %), позволило выделить его как наиболее перспективный. Сорт Розовый шарм по урожайности (64,5 т/га) уступил стандарту на 5,3 т/га, но превзошел его по товарности на 1,1 % (95,7 % против 94,6 % у стандарта). Во второй группе новый сорт Озарение по урожайности (51,6 т/га) превысил показатели стандартного сорта Торпеда на 1,8 т/га, однако незначительно уступил ему по показателю товарности. Установлено, что коэффициент адаптивности всех исследуемых генотипов, включая новые сорта и стандарты, варьировал около единицы. Это позволяет характеризовать их как высокоадаптивные, что проявляется в способности формировать стабильно высокую урожайность благодаря устойчивости к комплексу неблагоприятных биотических и абиотических факторов среды, характерных для Астраханской области. Внедрение в производство данных сортов будет способствовать расширению сортимента и импортозамещению этой культуры.

Ключевые слова: *Solanum lycopersicum* L., ценные признаки, селекционные линии, сорта, импортозамещение

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (тема № FNMW-2022–0013).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кигашпаева О. П., Гулин А. В., Джабраилова В. Ю., Костенко А. Н. Новые сорта томата для Юга России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1241–1250.
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1241-1250>

Поступила: 08.04.2025

Принята к публикации: 28.11.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Breeding new tomato cultivars for southern Russia

© 2025. Olga P. Kigashpaeva , Alexander V. Gulin, Vera Yu. Dzhabrailova,
Alexander N. Kostenko

All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing –
Branch of the Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy
of Sciences, Kamzyak, Russian Federation

Tomato is the most popular vegetable crop and its fruits are consumed fresh and as processed products. For each type of use, cultivars with specific fruit qualities are required. The objective of the research was to study new tomato cultivars bred by the All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing according to the complex of agronomic traits in a competitive trial nursery. The studies were conducted from 2022 to 2024 under the conditions of the Astrakhan region. The objects of the study were new tomato cultivars ‘Krasny naliv’, ‘Rozovy sharm’, and ‘Ozarenie’, as standard there were used cultivars ‘Astrakhanskij’ (with round fruits) and ‘Torpeda’ (with elongated, plum-shaped fruits). According to the results of the competitive variety trial high productivity and adaptability of the studied cultivars in the agro-climatic conditions of the Astrakhan region have been established. In a comparative analysis with the standard ‘Astrakhanskij’ cultivar in the group of salad-type varieties the highest yield indicators were recorded for the ‘Krasny naliv’ cultivar (71.6 t/ha) that was 1.8 t/ha higher than the standard. This, combined with a better marketability indicator (97.9 %), allowed it to be identified as the most promising. The ‘Rozovy sharm’ cultivar was 5.3 t/ha less than the standard in the yield (64.5 t/ha), but surpassed it in marketability by 1.1 % (95.7 % versus the standard's 94.6 %). In the second group, the new cultivar ‘Ozarenie’ 1.8 t/ha exceeded the standard ‘Torpeda’ in the yield (51.6 t/ha) but was slightly inferior in terms of marketability. It was established that the adaptability coefficient of all studied genotypes, including the new cultivars and the standards, varied around one. This characterizes them as highly adaptive, which is manifested in their ability to produce consistently high yields due to the resistance to the complex

of unfavorable biotic and abiotic environmental factors characteristic of the Astrakhan region. The introduction of these cultivars into production will help to expand the assortment and support import substitution for this crop.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., valuable traits, breeding lines, cultivars, import substitution

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher of the Russian Federation within the state assignment of the Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (topic no. FNMW-2022–0013).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert assessment of this work.

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

For citation: Kigashpaeva O. P., Gulina A. V., Dzhabrailova V. Yu., Kostenko A. N. Breeding new tomato cultivars for southern Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1241–1250. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1241-1250>

Received: 08.04.2025

Accepted for publication: 28.11. 2025

Published online: 26.12.2025

В условиях современного потребительского рынка спрос на сельскохозяйственную продукцию постоянно растет и меняется и, чтобы ему соответствовать, необходимо иметь разнообразие сортов [1, 2]. Одна из самых распространенных и популярных у населения овощных культур – это томат, плоды которого являются богатым источником антиоксидантов, особенно ликопина и β -каротина, обогащены витаминами А, С, минералами Са, Р и Fe, содержат биологически активные вещества, предохраняющие от атеросклероза и понижающие уровень холестерина, имеют низкую калорийность [3]. Регулярное употребление томатов в пищу, как считают многие исследователи, напрямую связано со снижением риска хронических заболеваний, в том числе сердечно-сосудистых и онкологических [4, 5].

Посевные площади под данной культурой постоянно растут [6]. В рыночных условиях производители и потребители томатной продукции стали проявлять повышенный интерес к специализированным сортам и гибридам F1, которые в большей степени удовлетворяют самым разнообразным требованиям коллективных и фермерских хозяйств, огородников, дачников, консервной промышленности [7, 8, 9, 10]. В настоящее время важной задачей является увеличение производства плодов в промышленных объемах, удлинение сроков их потребления, равномерное обеспечение населения и консервных предприятий плодами в течение сезона овощеводов, а для этого, как известно, необходимо расширение сортимента, что является особенно важным в условиях усиления курса импортозамещения [11, 12, 13].

Астраханская область является благоприятным регионом для выращивания товарной продукции и ведения семеноводства большинства овощных культур¹. Здесь выращивается до 74 % от валового сбора томатов по стране. По данным Росстата, посевные площади томата открытого грунта в промышленном секторе овощеводства Астраханской области в 2024 г. находились на уровне 12,4 тыс. га². Селекционерами Всероссийского НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства (ВНИИООБ), расположенного в г. Камызяк Астраханской области, уже более 60 лет ведется селекционная работа по созданию новых сортов овощных культур, в том числе томата³. В институте селекционная работа направлена на создание новых сортов и гибридов F1 томата, адаптированных к почвенно-климатическим условиям Южного федерального округа РФ. За последние 10 лет во ВНИИООБ созданы новые сорта томата: Марафон, Красный чемпион, Бульдог, Авдеевский, Восторженный, Заволжский, Камбай, Гномик, Хорс. Характеризует их высокая стабильная урожайность, дружность созревания, устойчивость к болезням, высокое качество плодов, но при этом они различаются формой, размером, окраской и назначением использования. Процесс в селекции не останавливается, необходимость создавать более совершенные сорта и гибриды, улучшенные по одному или комплексу хозяйственно ценных признаков, существует всегда.

Цель исследований – изучить в питомнике конкурсного испытания новые сорта томата селекции ВНИИООБ по комплексу хозяйственно ценных признаков.

¹Программа развития селекции и семеноводства овощных культур на 2024–2030 годы. М.: Минсельхоз РФ, 2022. 56 с.

²Площади, сборы и урожайность помидоров открытого грунта в Астраханской области в 2007–2023 гг. АБ-Центр – экспертно-аналитический центр агробизнеса. [Электронный ресурс]. URL: <https://ab-centre.ru/news/ploschadi-sbory-i-urozhaynost-pomidorov-otkrytogo-grunta-v-astrahanskoy-oblasti-v-2007-2023-gg> (дата обращения: 10.07.2025)

³Иванова Н. В., Окунь Л. Я., Машкова Е. Ю., Цапко С. Н., Павлова А. Е., Семина Ю. Е., Жувагина О. Г. Астраханская область в цифрах: краткий сборник. Астрахань: Астраханьстат, 2020. 92 с.

Научная новизна – созданы сорта томата с высокой стабильной урожайностью, дружностью созревания, устойчивостью к болезням и высоким качеством плодов для условий Нижнего Поволжья.

Материал и методы. Исследования проводили в отделе селекции и семеноводства Всероссийского НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства (ВНИИООБ) – филиале ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» на опытном участке, расположенном на территории г. Камызяк Астраханской области в условиях дельты реки Волги. Рельеф участка плоский, почва аллювиально-луговая среднесуглинистая слабозасоленная (сульфатно-хлоридного типа). Реакция среды в пахотном слое почвы слабощелочная – рН – 7,9, содержание гумуса – 1,95 %⁴.

Объекты изучения – новые сорта томата Красный налив, Озарение, Розовый Шарм.

Климат зоны проведения исследований резко континентальный, характеризуется жарким засушливым летом и малоснежной зимой. Переход температуры через +10 °С происходит 13–16 апреля. Продолжительность теплого периода 175–185 суток, сумма активных температур воздуха – 3360–3565 °С, сумма годовых осадков – 155–195 мм. По средним многолетним наблюдениям заморозки прекращаются во второй декаде апреля, но в отдельные годы возвратные заморозки наблюдаются в первой декаде мая.

Среднедекадная температура воздуха в 2022, 2023, 2024 гг. в первой декаде апреля превышала среднемноголетнее значение (8,8 °С) на 2,6; 3,4 и 3,9 °С соответственно по годам. В ночное время отмечалось понижение до 3–4 °С. Во второй декаде апреля среднедекадная температура составляла от 11,9 до 17,6 °С. В ночное время устанавливалась постоянная положительная температура 7–14 °С и к концу декады дневная температура составляла 27–28 °С. В третьей декаде среднемноголетний показатель по годам был превышен на 6,8, 7,0 и 10,1 °С.

Сумма осадков за апрель в 2022 г. составляла 11,8 мм, 2023 г. – 34,0 мм, 2024 г. – 2,1 мм. Ветреная и сухая теплая погода установилась

в мае с повышением температуры до 27–28 °С, а к концу месяца – до 31,0–33,0 °С. За месяц выпало соответственно по годам 29,0; 31,4 и 3,1 мм осадков. Июнь отличался жаркой и сухой погодой – среднемесячная температура составила 24,3–26,3 °С, за месяц выпало от 0,9 до 3,3 мм осадков. Средняя температура за июль находилась в диапазоне 23,7–28,4 °С, за месяц выпало по годам 56,4; 38,0 и 0,6 мм осадков. Среднесуточная температура воздуха в I декаде августа составляла от 27,7 до 30,3 °С, в дневное время поднималась до 38,0 °С, к концу месяца температура несколько понижалась, но в отдельные дни достигала 36,0 °С. Осадков за месяц выпадало от 0,3 до 7,1 мм. В первой декаде сентября дневные температуры воздуха варьировали от 19,6 до 30,0 °С, в ночное время температура понижалась до 8,0–11,0 °С. Во второй и третьей декадах сентября среднесуточная температура воздуха составляла 19,7–19,1 °С.

В общей сложности за период проведения наблюдений с апреля по сентябрь в 2022 г. выпало 132,4 мм, 2023 г. – 143,6 мм, в 2024 – 14,8 мм осадков при среднемноголетней норме 96,3 мм. Как видно из данных, в течение вегетационного периода с апреля по сентябрь погодные условия характеризовались высокой интенсивностью температуры, жарой, почвенной и воздушной засухой, повышенной солнечной инсоляцией, что вызывает у растений задержку развития, опадание завязи и снижение урожая. Известно, что Нижнее Поволжье является зоной рискованного земледелия и возделывание сельскохозяйственных культур возможно только при орошении.

Селекционную работу проводили в соответствии с общепринятыми методиками^{5, 6}. Устойчивость к болезням томата (вершинная гниль, фузариоз) оценивали на естественном инфекционном фоне в сочетании с жаро- и засухоустойчивостью при высоких положительных естественных температурах воздуха, устойчивость форм томата к заражению египетской (*Orobanche aegyptica*) – в полевых условиях согласно принятой методике⁷. Описание образцов овощных культур, выделившихся

⁴Салина Ю. Б., Александров С. О., Шантасов А. М., Худякова Е. А., Белялов Р. М. Агробиохимическая характеристика почв Астраханской области: справочник. Астрахань, 2020. 68 с.

⁵Методические указания по селекции сортов и гибридов томата для открытого и защищенного грунта. Сост. акад. ВАСХНИЛ А. В. Алпатьев и др. М., 1986. 112 с.

⁶Авдеев Ю. И., Авдеев А. Ю., Кигашпаева О. П. Методические разработки, доноры и направления исследований в селекции овощных культур. Астрахань, 2014. 204 с.

⁷Авдеев Ю. И., Иванова Л. М., Авдеев А. Ю. Методические рекомендации по селекции томата на устойчивость к заражению и комплексу других болезней. Астрахань, 2008. 27 с.

по комплексу признаков, проводили по соответствующим руководствам^{8, 9, 10, 11, 12, 13, 14}. Экспериментальные данные обработаны методом дисперсионного анализа¹⁵.

Посев томата в рассадной культуре проводили в I декаде апреля в стеклянных теплицах по схеме – 5 x 3 см, уход состоял из рыхления, прополки сорняков и поливов. Подготовка опытного поля включала осеннюю зяблевую вспашку и весеннюю обработку почвы: ранневесеннее покровное боронование в два следа, предпосевную культивацию, нарезку борозд с одновременным внесением удобрений и раскладкой ленты капельного орошения. Высадку рассады в открытый грунт проводили вручную во II декаде мая по схеме 1,4 x 0,2 м. Способ полива – капельное орошение с внесением водорастворимых минеральных удобрений способом фертигации. Сроки и нормы полива в течение вегетации устанавливали с учетом состояния растений, влажности почвы и метеоусловий. Предпосадочная поливная норма 350 м³/га, послепосадочная – 70 м³/га, вегетационные – от 70 до 250 м³/га. В период вегетации проводили: 2-3 ручные прополки; 2-3 междурядные культивации культиватором КРН-4,2; 2-3 обработки инсектицидами для защиты растений от вредителей (колорадский жук и хлопковая совка); фенологические наблюдения – фазы «всходы», «цветение», «созревание» (начало – 10 % и массовые – 75 %); оценку и отбор индивидуальных растений и линий по хозяйственной ценности; учет урожайности и определение структуры урожая. Биохимические показатели в плодах томата определяли в испытательной лаборатории ФГБУ «ГЦАС «Астраханский»: сухое вещество – по ГОСТ 31640-2012, п 5¹⁶;

массовая доля витамина С – ГОСТ 24556-89, п 2¹⁷; массовая доля сахаров – ГОСТ 8756.13-87, п 2¹⁸.

Результаты и их обсуждение. По результатам селекционной работы, проводимой в период с 2017 по 2024 год, созданы новые сорта томата.

Красный налив – на основе отбора из нерасщепляющегося селекционного образца Д-47 в 2017 г. и последующих улучшающих отборов на выравненность, высокую урожайность, дружность созревания и устойчивость к растрескиванию крупноплодных плодов красной окраски. Сорт салатного назначения с высокой продуктивностью (71,6 т/га), среднеспелый (от 121 до 126 сут). Высота растений – 0,79–0,82 м, красный плод округлой формы, диаметр – 5,2–5,5 см, число камер – более 6. Индекс плода – 0,90. Закладка первого соцветия над 8-9-м листом. При благоприятных условиях плодоносит до конца сезона. Сорт высокоустойчив к растрескиванию плодов, высоким положительным температурам воздуха, относится к обыкновенному детерминантному сорто типу томата. В 2024 г. на сорт получен Патент № 13533 [14] (рис. 1).

Озарение – отобран в селекционном образце Д-37 в 2019 г. с последующим изучением и отбором на выравненность, высокую урожайность, дружность завязывания и созревания, устойчивость к растрескиванию плодов розовой окраски цилиндрической формы. Среднераннего срока созревания – 105–112 суток, продуктивность – 51,6 т/га, куст детерминантный, штамбовый, высотой 0,55–0,70 м. Плод удлиненно-сливовидной формы, средняя длина – 6,8 см, диаметр – 3,5 см, с 3-4 семенными камерами. Индекс плода – 1,94. Закладка первого соцветия над 4-5-м листом.

⁸Бакулина В. А., Белехова К. А., Боос Г. В. и др. Руководство по апробации овощных культур и кормовых корнеплодов. Под ред. Д. Д. Брежнева. М.: Колос, 1982. 414 с.

⁹Павлов Л. В., Солдатенко А. В. Методические указания по апробации овощных и бахчевых культур. М.: Изд-во ФГБНУ ФНЦО, 2018. 224 с.

¹⁰Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск четвертый. Картофель, овощные и бахчевые культуры. М.: Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений, 2015. 61 с.

¹¹Шмаль В. В. Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. М., 2005. 119 с.

¹²Белик В. Ф. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве. М.: Агропромиздат, 1992. 210 с.

¹³Литвинов С. С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М., 2011. 649 с.

¹⁴Литвинов С. С. Селекция, семеноводство и сортовая агротехника овощных, бахчевых и цветочных культур. М., 2016. 344 с.

¹⁵Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1989. 416 с.

¹⁶ГОСТ 31640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. М.: Стандартинформ, 2020. 13 с.

URL: <https://rags.ru/gosts/gost/52337/>

¹⁷ГОСТ 24556-89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С.

М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 11 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/11266/?ysclid=mih5yylke2955017182>

¹⁸ГОСТ 8756.13-87. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров.

М.: Стандартинформ, 2010. 12 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/12000/?ysclid=mih634dqs559144515>



Рис. 1. Сорт томата Красный налив /
Fig. 1. Tomato cultivar 'Krasny naliv'

Окраска плода в зрелом состоянии – малиново-розовая, в незрелом – светло-зеленая. Плод без пятна у основания, с сочленением плодоножки, легко отделяется от растения при сборе. Плоды прочные, при созревании не растрескиваются, долго сохраняются в товарном виде на растении и после сбора. Обладает высокой устойчивостью к заболеваниям (альтернариоз, вершинная гниль плодов, вирус табачной мозаики) и экстремальным условиям аридного

климата (жара, почвенная и воздушная засуха, повышенная солнечная радиация). Идеально подходит для потребления в свежем виде и консервирования. Рекомендуется для выращивания в открытом грунте по схеме посадки 1,4x0,2 м. Пригоден для одноразовой механизированной уборки томатоборочными комбайнами и дальнейшей транспортировки плодов в стадиях бурой и полной степени зрелости. Передан на госсортоиспытание с 2025 г. (рис. 2)

Рис. 2. Сорт томата Озарение /
Fig. 2. Tomato cultivar 'Ozarenie'



Розовый шарм – создан в результате отбора из нерасщепляющегося селекционного образца Д-117 в 2019 г. на выравненность по типу растения, форме и размеру, устойчивости к растрескиванию плодов округлой формы розовой окраски, высокую урожайность, дружность созревания с последующими улучшающими отборами. Сорт салатного назначения, среднеспелый (105–112 суток), высокопродуктивный

(64,5 т/га). Растения детерминантного типа, штамбовые, высотой 0,55–0,60 м, плоды округлой формы, розовой окраски. Диаметр плода 4,5–4,8 см с зеленым пятном у основания, сочленением плодоножки, число камер 3-4 шт. Индекс плода – 0,95. Закладка первого соцветия над 6-7-м листом. При благоприятных условиях плодоносит до конца сезона. Устойчив к растрескиванию и вершинной гнили плодов

томата, высоким положительным температурам окружающей среды выращивания. Рекомендуется для выращивания в открытом грунте, а также горшечной культуре. Плоды можно

использовать для потребления в свежем виде, цельноплодного консервирования, переработки на тоματοпродукты. Подготовлен для госсортоиспытания 2025 г. (рис. 3).



Рис. 3. Сорт томата Розовый шарм / Fig. 3. Tomato cultivar 'Rozovy sharm'

В 2022, 2023 и 2024 гг. новые сорта проходили конкурсное сортоиспытание. В качестве стандартов использовали районированные по Нижневолжскому региону сорта томата Астраханский (с плодами округлой формы) и Торпеда (с удлинённо-сливовидными плодами).

Все изучаемые образцы характеризовались высокой урожайностью. В первой группе лучшим был сорт Красный налив: общая урожайность – 71,6 т/га, товарность – 97,9 %,

у сортов Розовый шарм и стандарта Астраханский эти показатели тоже высокие. По массе плода в группе салатных сортов выделяется Красный налив. Новый сорт Озарение по урожайности превысил стандартный Торпеда на 1,8 т/га, хотя по товарности немного ему уступает, а масса плода у них на одном уровне. Вкусовые качества плодов у сортов обеих групп высокие – от 4,5 до 4,8 балла (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика сортов томата по хозяйственно ценным признакам (среднее за 2022–2024 гг.) / Table 1 – Characteristics of tomato cultivars by agronomic traits (average for 2022–2024)

<i>Сорт / Cultivar</i>	<i>Период от массовых всходов до начала созревания, сут / Period from mass emergence to the beginning of ripening, days</i>	<i>Общая урожайность, т/га / Total yield, t/ha</i>	<i>Товарность, % / Marketability, %</i>	<i>Средняя масса плода, г / Average fruit weight, g</i>	<i>Дегустационная оценка, балл / Tasting score, points</i>
Красный налив / 'Krasny naliv'	123	71,6	97,9	188	4,7
Розовый шарм / 'Rozovy sharm'	107	64,5	95,7	89	4,6
Астраханский (стандарт) / 'Astrakhanskij' (Standard)	117	69,8	94,6	117	4,8
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	1,5	-	-	-
Озарение / 'Ozarenie'	110	51,6	96,0	85	4,5
Торпеда (стандарт) / 'Torpedo' (Standard)	103	49,8	97,4	88	4,5
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	1,4	-	-	-

При изучении коэффициента адаптивности использовали методику выявления адаптивности и потенциальной продуктивности сортов по анализу величины урожая на примере озимой пшеницы, разработанную А. А. Животковым с соавторами¹⁹. Известно, что критерием оценки адаптивности любого сорта является его реакция на факторы внешней среды. Эта методика применима и для определения продуктивности и адаптивного потенциала сортов с учетом варьирования урожая по годам и на овощных культурах. Для нахождения показателя общей видовой адаптивной реакции культуры на конкретные условия выращивания используется понятие «среднесортная урожайность года», которая является показателем нормы реакции определенной группы сортов на факторы внешней среды в конкретном году.

Из полученных результатов видно, что показатель адаптивности в среднем за три года выше единицы зафиксирован у сортов Красный налив и Астраханский, у остальных изучаемых сортов он составил – от 0,94 до 0,99. Это говорит о том, что сорта как новые, так и взятые в качестве стандартных, являются высокоадаптивными, что свидетельствует о высокой урожайности, устойчивости или толерантности к биотическим и абиотическим стрессовым факторам региона (табл. 2).

Как известно, вкусовые качества плодов томата зависят от количественного содержания в них биохимических веществ. Изучаемые образцы томата по показателям содержания сухого вещества уступали стандартным сортам. В группе со стандартным сортом Астраханский они были на 0,44–0,93 % ниже. Массовая доля общих сахаров образцов этой группы была на 0,51–1,86 % ниже.

¹⁹Животков Л. А. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов озимой пшеницы по урожайности. Аграрная наука. 1994;(5):23–24.

**Таблица 2 – Показатели адаптивности и стабильности новых сортов томата по признаку «урожайность»
Table 2 – Indicators of adaptability and stability of new tomato cultivars by the “yield” trait**

Сорт / Cultivar	Общая урожайность, т/га / Total yield, t/ha			Доля урожайности относительно среднесортной, % / Yield share relative to the average variety, %			Коэффициент адаптивности / Adaptability coefficient			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее / average
	среднее / average			среднее / average			среднее / average			
Красный налив / 'Krasny naliv'	65,8	78,4	70,6	95,8	107,1	101,7	101,5	1,14	1,02	1,03
Розовый шарм / 'Rozovy sharm'	60,2	68,0	65,3	95,4	92,8	94,0	94,0	0,99	0,95	0,94
Астраханский (стандарт) / 'Astrakhanskiy' (Standard)	63,6	73,4	72,4	100,7	99,7	104,3	101,5	1,06	1,01	0,99
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	1,3	2,3	0,9	-	-	-	-	-	-	-
Среднесортная урожайность, т/га / Average yield, t/ha	63,1	73,2	69,4	100,0	100,0	100,0	100,0	1,00	1,00	1,00
Озарение / 'Ozarenie'	41,7	58,0	55,1	99,6	102,8	102,3	101,6	0,82	1,14	1,02
Торпеда (стандарт) / 'Torpedo' (Standard)	42,0	54,8	52,6	100,3	97,2	97,6	98,3	0,83	1,08	0,98
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	Fф<Fт	1,7	1,1	-	-	-	-	-	-	-
Среднесортная урожайность, т/га / Average yield, t/ha	41,9	56,4	53,9	100,0	100,0	100,0	100,0	1,00	1,00	1,00

По содержанию витамина С существенной разницы между стандартами и изучаемыми сортами не выявлено, лучшим был сорт Красный налив – его плоды накапливали 8,75 мг%, что выше стандарта на 0,44 мг%, а по содержанию каротина лучшим отмечен Розовый шарм – превышение над стандартом –

1,04 мг%. Сорт Озарение по содержанию сухого вещества плодов уступал стандарту Торпеда на 1,24 %, но превышал его по содержанию массовой доли общих сахаров и каротина. Кислотность у сортов обеих групп варьировала от 4,16 до 4,88 (табл. 3).

*Таблица 3 – Биохимическая характеристика плодов новых сортов томата (среднее за 2022–2024 гг.) /
Table 3 – Biochemical characteristics of the fruits of new tomato cultivars (average for 2022–2024)*

Сорт / Cultivar	Содержание сухого вещества, % / Dry matter content %	Массовая доля / Mass fraction		Содержание каротина, % / Carotene content, %	Кислот- ность, pH / Acidity, pH
		общих сахаров, % / total sugar, %	витамина С, мг% / vitamin C, mg%		
Красный налив / 'Krasny naliv'	5,61	5,21	8,75	2,13	4,52
Розовый шарм / 'Rozovy sharm'	5,12	3,86	7,64	3,45	4,85
Астраханский (ст.) / 'Astrakhanskij' (St.)	6,05	5,72	8,31	2,41	4,88
Озарение / 'Ozarenie'	4,18	3,94	5,15	4,07	4,16
Торпеда (ст.) / 'Torpeda' (Standard)	5,42	3,52	5,12	3,32	4,42

Заключение. На основании результатов комплексной оценки томата в условиях открытого грунта можно сделать следующие выводы: новые сорта обладают хозяйственно ценными качествами, расширяют сортимент для различных направлений использования плодов, при этом плоды сортов Красный налив (красной окраски округлой формы массой 190 г) и Розовый шарм (розовой окраски округлой формы массой 85 г) салатного направления использования пригодны для переработки на томатопродукты, сорт Озарение (сливовидной формы массой около 90 г малиновой окраски) – для потребления в свежем виде и консервирования, пригоден для одноразовой механизированной уборки и транспортировки. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о высокой адаптивности новых сортов томата, которые

обеспечивают формирование стабильно высокого урожая товарного качества в условиях Нижнего Поволжья. В среднем общая урожайность за 2022–2024 гг. составила от 51,6 до 71,6 т/га, товарность – 95,7–97,9 %, вкусовые качества 4,5–4,7 балла. Значения коэффициента адаптивности, близкие к единице, были зафиксированы у всех изучаемых сортообразцов. Это свидетельствует об их высокой адаптивности и, как следствие, о значительном потенциале продуктивности и толерантности к биотическим и абиотическим стресс-факторам в условиях Астраханской области. Сорта пригодны для возделывания как в фермерских, так и в приусадебных, и дачных хозяйствах. Они расширяют линейку сортов, адаптированных к условиям Южного федерального округа, что способствует импортозамещению данной культуры.

Список литературы

1. Ушачев И. Г., Маслова В. В., Чекалин В. С. Импортозамещение и обеспечение продовольственной безопасности России. Овощи России. 2019;(2):3–8. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-3-8> EDN: PUULGD
2. Солдатенко А. В., Разин А. Ф., Пивоваров В. Ф., Шатилов М. В., Иванова М. И., Россинская О. В., Разин О. А. Овощи в системе обеспечения продовольственной безопасности России. Овощи России. 2019;(2):9–15. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-9-15> EDN: EDFNYR
3. Огнев В. В., Чернова Т. В., Костенко А. Н., Барбарицкая И. В. Состояние и перспективные направления селекции томата для открытого грунта России. Картофель и овощи. 2021;(9):33–36. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.70.53.005> EDN: IEFDXK
4. Лушник А. А. Оценка потребности в овощах в соответствии с рациональными нормами их потребления. Овощи России. 2019;(2):16–21. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-16-21> EDN: GNJZNP

5. Герасименко Н. Ф., Позняковский В. М., Челнакова Н. Г. Здоровое питание и его роль в обеспечении качества жизни. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2016;(4):52–57. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28159103> EDN: VIPFHU
6. Кигашпаева О. П., Гулин А. В., Капанова Р. Х., Володина С. А. Результаты и перспективы астраханской селекции овощных и бахчевых культур. Овощи России. 2021;(5):16–21. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-16-21> EDN: CRZNP1
7. Кондратьева И. Ю., Голубкина Н. А., Павлов Е. Л. Соотношение каротиноидов в плодах разной окраски. Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2018;(13):193–195. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xvahjr> EDN: XVAHJR
8. Ахмедова П. М. Результаты испытаний новых полущтамбовых сортов томата в условиях Терско-Сулакской низменности Республики Дагестан. Аграрный вестник Урала. 2023;23(1):2–11. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-230-01-2-11> EDN: ZUBUOL
9. Енгальчев М. Р., Джос Е. А., Матюкина А. А., Верба О. В., Демиденко Е. В., Соснов В. С., Рубцов А. А. Селекция томата для открытого грунта юга России. Овощи России. 2024;(2):5–11. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-2-5-11> EDN: APGHYX
10. Кондратьева И. Ю., Павлов В. Л. Содержание сухого вещества в плодах томата в зависимости от фазы развития растений и условий выращивания. Известия ФНЦО. 2021;(1-2):90–95. DOI: <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2021-1-2-90-95> EDN: YWBKLD
11. Курина А. Б., Соловьева А. Е., Храпалова И. А., Артемьева А. М. Биохимический состав плодов томата различной окраски. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;25(5):514–527. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.058> EDN: MQKXGF
12. Шамшин И. Н., Ильичев А. С., Фомичева М. Г., Грошева Е. В. Поиск генов устойчивости к болезням томата с использованием молекулярных маркеров для создания новых генотипов. Биотехнология и селекция растений. 2024;7(3):19–30. DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2024-3-01> EDN: GUTQON
13. Ахмедова П. М., Велижанов Н. М. Оценка коллекционного материала сортов томата в условиях Дагестана в целях выделения наиболее перспективных форм для селекции томата. Овощи России. 2022;(1):46–50. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-46-50> EDN: BZJN1H
14. Володина С. А., Гулин А. В., Джабраилова В. Ю., Кигашпаева О. П. Томат Красный налив: пат. на селекционное достижение №13533 (Российская Федерация). №7755729 с датой приоритета; заяв. 15.12.2022; регистрация в гос. Реестре охраняемых селекционных достижений от 19.04.2024.

References

1. Ushachev I. G., Maslova V. V., Chekalin V. S. Import substitution and ensuring food security of Russia. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2019;(2):3–8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-3-8>
2. Soldatenko A. V., Razin A. F., Pivovarov V. F., Shatilov M. V., Ivanova M. I., Rossinskaya O. V., Razin O. A. Vegetables in the system of ensuring food security of Russia. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2019;(2):9–15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-9-15>
3. Ognev V. V., Chernova T. V., Kostenko A. N., Barbaritskaya I. V. Import substitution and ensuring food security of Russia. *Kartofel i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2021;(9):33–36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.70.53.005>
4. Lushchik A. A. Assessment of the need for vegetables in accordance with rational norms of consumption. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2019;(2):16–21. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-16-21>
5. Gerasimenko N. F., Poznyakovskiy V. M., Chelnakova N. G. Healthy eating and its role in ensuring the quality of life. *Tekhnologii pishchevoy i pererabativayushchey promishlennosti APK – produkti zdorovogo pitaniya*. 2016;(4):52–57. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28159103>
6. Kigashpaeva O. P., Gulina A. V., Kapanova R. H., Volodina S. A. Results and prospects of the Astrakhan selection of vegetable and melon crops. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2021;(5):16–21. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-16-21>
7. Kondrateva I. Yr., Golubkina N. A., Pavlov E. L. The ratio of carotenoids in fruits of different colors. *Novie i netraditsionnie rasteniya i perspektivi ikh ispolzovaniya*. 2018;(13):193–195. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xvahjr>
8. Akhmedova P. M. Test results of new semi-lamb tomato varieties in the conditions of the Terek-Sulak lowland of the Republic of Dagestan. *Agrarny vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2023;23(1):2–11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-230-01-2-11>
9. Engalychev M. R., Dzhos E. A., Matyukina A. A., Verba O. V., Demidenko E. V., Sosnov V. S., Rubtsov A. A. Tomato breeding for open ground in the south of Russia. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2024;(2):5–11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-2-5-11>

10. Kondrateva I. Yu., Pavlov V. L. Dry matter content in tomato fruits depending on the phase of plant development and growing conditions. *Izvestiya FNTSO = News of Federal Scientific Vegetable Center*. 2021;(1-2):90–95. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2021-1-2-90-95>

11. Kurina A. B., Solovyeva A. E., Khrapalova I. A., Artemyeva A. M. Biochemical composition of tomato fruits of various colors. *Vavilovsky zhurnal genetiki i seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(5):514–527. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.058>

12. Shamshin I. N., Ilyichev A. S., Fomicheva M. G., Grosheva E. V. A search for tomato disease resistance genes using molecular markers to create new genotypes. *Biotekhnologiya i seleksiya rasteny = Plant Biotechnology and Breeding*. 2024;7(3):19–30. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2024-3-01>

13. Akhmedova P. M., Velizhanov N. M. Evaluation of the collection material of tomato varieties in dagestan in order to identify the most promising forms for tomato breeding. *Ovoshchi Rossii = Vegetable crops of Russia*. 2022;(1):46–50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-46-50>

14. Volodina S. A., Gulin A. V., Dzhabrailova V. Yr., Kigashpaeva O. P. Tomato ‘Krasny naliv’: patent for a breeding achievement No. 13533 (Russian Federation). No. 7755729 with a priority date; application 15.12.2022; registration in the State Register of Protected Breeding Achievements from 19.04.2024.

Сведения об авторах

✉ **Кигашпаева Ольга Петровна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиал ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», ул. Любича, д. 16, Астраханская область, г. Камызяк, Российская Федерация, 416341, e-mail: vniiob@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4578-6177>

Гулин Александр Владимирович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиал ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», ул. Любича, д. 16, Астраханская область, г. Камызяк, Российская Федерация, 416341, e-mail: vniiob@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6000-5311>

Джабраилова Вера Юрьевна, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиал ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», ул. Любича, д. 16, Астраханская область, г. Камызяк, Российская Федерация, 416341, e-mail: vniiob@mail.ru

Костенко Александр Николаевич, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиал ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», ул. Любича, д. 16, Астраханская область, г. Камызяк, Российская Федерация, 416341, e-mail: vniiob@mail.ru

Information about the author

✉ **Olga P. Kigashpaeva**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing – Branch of the Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 16 Lyubicha St., Kamyzyak, Astrakhan Region, Russian Federation, 416341, e-mail: vniiob@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4578-6177>

Alexander V. Gulin, PhD in Agricultural Science, leading researcher, director, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing – Branch of the Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 16 Lyubicha St., Kamyzyak, Astrakhan Region, Russian Federation, 416341, e-mail: vniiob@mail.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6000-5311>

Vera Yu. Dzhabrailova, junior researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing – Branch of the Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 16 Lyubicha St., Kamyzyak, Astrakhan Region, Russian Federation, 416341, e-mail: vniiob@mail.ru

Alexander N. Kostenko, PhD in Agricultural Science, senior researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing – Branch of the Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 16 Lyubicha St., Kamyzyak, Astrakhan Region, Russian Federation, 416341, e-mail: vniiob@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Практическое применение SSR-маркеров в селекции льна (*Linum usitatissimum* L.)

© 2025. Т. А. Базанов✉, И. В. Ущাপовский, Т. А. Рожмина, Н. Н. Логинова,
Е. В. Минина, П. Д. Вересова

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь,
Российская Федерация

Лен – перспективная культура, ориентированная на промышленное использование и экспорт. Традиционные методы селекции требуют значительных временных и трудовых ресурсов, однако современные ДНК-маркеры такие, как микросателлиты, существенно ускоряют разработку новых сортов и повышают эффективность селекционных процессов. Цель – разработать подходы маркер-ассоциированной селекции с использованием SSR-маркеров для культуры льна. Объекты исследования – 24 линии льна-долгуна, полученные в результате реализации проекта по селекционно-семеноводческому центру, для которых были составлены генетические паспорта, оценена генетическая однородность и рассмотрены филогенетические связи. ДНК 25 растений каждой линии были подвергнуты SSR-анализу методом ПЦР с помощью двух экспериментальных линеек маркеров российской и белорусской разработки. Продукты реакции детектированы с помощью капиллярного электрофореза с последующим кластерным анализом и построением дендрограмм. SSR-анализ выявил высокий уровень полиморфизма: 32 аллели в российской и 47 – в белорусской линейках с уникальными аллелями у отдельных генотипов. Внутрисортная однородность составила 76–96 % при анализе двумя линейками SSR-маркеров, что подтверждает генетическую стабильность линий. На основе данных сформированы молекулярно-генетические паспорта. Кластерный анализ, выполненный для каждой линейки маркеров, разделил линии на три основных кластера, отражая их происхождение. Оба набора маркеров показали сопоставимую разрешающую способность, обеспечив полную дифференциацию образцов и достоверное построение филогенетических связей. При этом белорусская линейка маркеров была более эффективна для выявления скрытых генетических вариаций, российская – предпочтительна для контроля стабильности и однородности при регистрации сортов. Дальнейшее использование SSR-маркеров является перспективным и способно оказать помощь в контроле процессов селекции льна и защиты прав селекционеров.

Ключевые слова: лён-долгунец, ДНК-маркеры, ПЦР, молекулярно-генетическая паспортизация, генетическая однородность, кластерный анализ, дендрограмма

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (грант 09.СЦ.25.16).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Базанов Т. А., Ущাপовский И. В., Рожмина Т. А., Логинова Н. Н., Минина Е. В., Вересова П. Д. Практическое применение SSR-маркеров в селекции льна (*Linum usitatissimum* L.). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2025;26(6):1251–1262. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1251-1262>

Поступила: 21.07.2025

Принята к публикации: 15.10.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Practical application of SSR-markers in flax breeding (*Linum usitatissimum* L.)

© 2025. Taras A. Bazanov✉, Igor V. Ushapovsky, Tatyana A. Rozhmina,
Natalya N. Loginova, Ekaterina V. Minina, Polina D. Veresova

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

Flax is a promising crop oriented towards industrial use and export. Traditional breeding methods require significant time and labor resources, but modern DNA-markers such as microsatellites significantly accelerate the development of new cultivars and increase the efficiency of breeding processes. The aim of the work was to develop approaches to marker-associated breeding using SSR-markers for flax. The objects of the study were twenty-four lines of fiber flax obtained as a result of the implementation of the breeding and seed-production center project, for which genetic passports were compiled, genetic homogeneity was assessed and phylogenetic relationships were considered. DNA from 25 plants of each line was subjected to SSR analysis by PCR method using two experimental marker lines developed in Russia and Belarus. The PCR-products were detected using capillary electrophoresis with subsequent cluster analysis and construction of dendrograms. SSR-analysis revealed a high level of polymorphism: 32 alleles in the Russian and 47 in the Belarusian line, with unique alleles in individual genotypes. Intravarietal homogeneity was 76–96 % when analyzed by two lines of SSR-markers, which confirmed the genetic stability of the lines. Molecular genetic passports were formed based on the data. Cluster analysis performed for each marker set divided the lines into three main clusters, reflecting their origin. Both sets of markers showed comparable resolution, ensuring complete differentiation of samples and reliable construction of phylogenetic relationships. At the same time, the Belarusian line of markers proved effective in identifying hidden genetic variations, while the Russian line is preferable for monitoring stability and homogeneity when registering the cultivars. Further use of SSR-markers is advanced and can help in monitoring flax breeding processes and protecting the rights of plant breeders.

Keywords: fiber flax, DNA-markers, PCR, molecular-genetic certification, genetic homogeneity, cluster analysis, dendrogram

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (grant 09.СЦ.25.16).

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

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

For citation: Bazanov T. A., Ushapovsky I. V., Rozhmina T. A., Loginova N. N., Minina E. V., Veresova P. D. Practical application of SSR-markers in flax breeding (*Linum usitatissimum* L.). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1251–1262. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1251-1262>

Received: 21.07.2025 Accepted for publication: 15.10.2025

Published online: 26.12.2025

Лен (*Linum usitatissimum* L.) является одной из перспективных сельскохозяйственных культур, обладающих значительным потенциалом для отечественной перерабатывающей промышленности и экспорта. Волокно льна отличается высокой прочностью, долговечностью и экологической чистотой, что обеспечивает его широкое применение в текстильной, автомобильной, строительной и целлюлозно-бумажной промышленности [1]. Семена льна характеризуются широким диапазоном изменчивости по соотношению ненасыщенных и насыщенных жирных кислот, высоким процентом масла и белка, содержат ценные пищевые волокна и лигнаны, что позволяет использовать их в пищевой промышленности, при производстве кормов, экологически чистого линолеума, красок и в фармацевтике [2, 3].

Развитие и повышение эффективности льноводства рассматривается в качестве одной из задач по развитию современного сельского хозяйства России¹. Селекция, направленная на создание новых конкурентоспособных сортов льна, является важным системным элементом развития отрасли. Основные методы селекции льна – гибридизация и отбор ценных форм. При традиционной селекции для создания нового сорта обычно требуется более 10 лет [4]. Это не позволяет резко ускорить темпы селекционного улучшения культуры, создать сорта с высокой адаптивностью к стрессовым погодным условиям и требованиям рынка. Поэтому все чаще применяются современные технологии, в частности маркер-ассоциированная селекция, позволяющая ускорить пребридинговый этап и отборы [5, 6, 7].

Молекулярные или ДНК-маркеры используются уже почти полвека, за это время было разработано более двадцати различных систем маркерного анализа [8, 9]. Среди множества доступных вариантов особенно выделяются микросателлитные маркеры (Simple Sequence Repeats (SSR) – простые повторяющиеся последовательности), которые считаются наиболее

предпочтительными для разнообразных исследований благодаря своей высокой вариабельности и широкому распространению. Высокая изменчивость микросателлитов в основном обусловлена варьированием числа повторов основного паттерна. Эти различия легко выявляются с помощью консервативных ПЦР-праймеров, специально разработанных для неповторяющихся фланкирующих областей [10]. Помимо этого, SSR характеризуются высокой полиморфностью, что позволяет эффективно различать даже близкородственные сорта [11]. С помощью микросателлитов можно контролировать степень гетерозиготности и оценивать наследование ценных признаков, что является ключевым этапом в селекционном процессе [12, 13]. Важным аспектом является также оценка генетической однородности и чистоты сортов – с помощью SSR-маркеров можно выявить генетические вариации внутри популяции, что позволяет определить степень генетической стабильности и однородности материала [14, 15]. Эти свойства делают данные маркеры незаменимым инструментом для подтверждения гибридной подлинности, оценки чистоты гибридного материала и мониторинга передачи желательных генов, что в конечном итоге способствует повышению эффективности и точности селекционной работы. Наконец, SSR-анализ легко выполняется с помощью ПЦР-метода, который не требует специального и дорогостоящего лабораторного оборудования [16].

Цель исследования – разработать подходы маркер-ассоциированной селекции с использованием SSR-маркеров для культуры льна (*Linum usitatissimum* L.).

Научная новизна – проведение генетической паспортизации селекционно-ценных линий льна-долгунца и изучение родственных связей между ними с помощью SSR-маркеров; оценка разрешающей способности двух экспериментальных линеек SSR-маркеров при определении однородности линейного материала льна.

¹Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденная Указом президента РФ от 21.01.2020. №20. [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202001210021?ysclid=md4i6n8c5a226727851> (дата обращения: 15.07.2024)

Материал и методы. В 2024 г. в лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции Федерального научного центра лубяных культур (ФНЦ ЛК) проведено экспериментальное исследование по оценке генетической однородности и гене-

тической паспортизации 24 линий льна-долгунца (табл. 1). Образцы семян селекционных линий получены в результате реализации проекта по селекционно-семеноводческому центру ФНЦ ЛК (обособленное подразделение Института льна, г. Торжок).

*Таблица 1 – Исследованные линии льна и их происхождение /
Table 1 – The studied lines of flax and their origin*

№	Линия / Line	Происхождение / Origin	№	Линия / Line	Происхождение / Origin
1	К-7473*	Л-255 × Василек / L-255 × 'Vasilek'	13	К-7485*	Альфа × А-93 / 'Al'fa' × А-93
2	К-7474*	Л-255 × Василек / L-255 × 'Vasilek'	14	К-7486*	Торжокский 85 × П-3917п-6 / 'Torzhokskij 85' × P-3917p-6
3	К-7475*	Л-255 × А-236 (Александрит) / L-255 × А-236 ('Aleksandrit')	15	К-7487*	М-291 × П-160 / М-291 × P-160
4	К-7476*	М-289 × М-290	16	К-7488*	П-160 × М-244 / P-160 × M-244
5	К-7477*	П-144 × А-255 / P-144 × А-255	17	К-7489*	П-160 × М-244 / P-160 × M-244
6	К-7478*	Викинг × Мерилин / Viking × 'Merilin'	18	К-7490*	П-154 × М-291 / P-154 × M-291
7	К-7479*	Л.252 × Мерилин / L.252 × 'Merilin'	19	К-7491*	П-160 × М-244 / P-160 × M-244
8	К-7480*	Лада × Л.222 / 'Lada' × L.222	20	К-7492*	Л.164.8.3 × Л.1596.7.8 / L.164.8.3 × L.1596.7.8
9	К-7481*	Л.2072.6.10 × Л.1596.7.8 / L.2072.6.10 × L.1596.7.8	21	К-7493*	Л.2072.6.10 × Л.1596.7.8 / L.2072.6.10 × L.1596.7.8
10	К-7482*	Л.1634.8.3 × АР-2 / L.1634.8.3 × AR-2	22	К-7494*	Л.2072.6.10 × Л.1596.7.8 / L.2072.6.10 × L.1596.7.8
11	К-7483*	А-93 × Тверца / А-93 × 'Tverca'	23	К-7495*	А-93 × Тверской / А-93 × 'Tverskoj'
12	К-7484*	Альфа × А-93 / 'Al'fa' × А-93	24	К-7496*	А-93 × Тверской / А-93 × 'Tverskoj'

*Часть обозначения линии, принятая селекционером /
*Part of the line designation adopted by the breeder

Каждая линия льна представлена 25 индивидуальными растениями. Экстракцию ДНК из листьев растений проводили с применением модифицированного СТАВ-метода. Определение концентрации и чистоты полученных образцов ДНК осуществляли на спектрофотометре NanoPhotometer NP80 (Implen).

Полученные образцы ДНК в дальнейшем анализировали методом ПЦР с применением молекулярных SSR-маркеров.

Для оценки генетической однородности линий и создания генетических паспортов использовали две линейки SSR-маркеров – отечественной (ФНЦ ЛК / ООО «Синтол») и зарубежной (Институт генетики и цитологии НАН Беларуси (ИГиЦ НАН Беларуси)) разработки.

В первую линейку маркеров вошли микросателлиты, использованные нами ранее в работах по изучению генетического полиморфизма и паспортизации сортов льна [17]. Отбор маркеров осуществляли на основании анализа различных баз данных нуклеотидных последо-

вательностей и обзора научных публикаций, посвященных молекулярно-маркерным исследованиям генетического разнообразия льна. С учетом показателей высокой полиморфности и стабильности был сформирован ряд SSR-маркеров, используемых для молекулярно-генетической дифференциации сортов. Выбранные 11 пар SSR-праймеров отличались высокой и средней степенью полиморфизма и эффективно разделяли сорта по их оригинаторам. Нуклеотидные последовательности первого набора маркеров представлены в таблице 2.

Вторая линейка маркеров, созданная белорусскими селекционерами [18], включает в себя 10 высокоинформативных SSR-маркеров. Она сформирована на основе глубокого анализа генетической изменчивости микросателлитных локусов льна, благодаря чему были выбраны наиболее полиморфные маркеры для дальнейших генетических исследований. Нуклеотидные последовательности второй линейки SSR-маркеров представлены в таблице 3.

Таблица 2 – Нуклеотидные последовательности праймеров первой линейки из 11 SSR-маркеров льна / Table 2 – Nucleotide sequences of primers of the first line* of 11 SSR-markers of flax*

<i>Кодировка / Code</i>	<i>Прямой праймер (5'-3' последовательность) / Forward primer (5'-3' sequence)</i>	<i>Обратный праймер (5'-3' последовательность) / Reverse primer (5'-3' sequence)</i>
Lin1	TTGGGATTGAGAAGAGGG	ATAAGGCCAAATAGAGAGGAA
Lin2	AGGATTACAACAAGAGAC	ATATTGACAGGGGAGGAAATA
Lin3	TTTGCAACGTCAATACCG	ATATCGCCTCAATAAACAACA
Lin4	CCTCAGTAGCATCGGTG	ATATTGGCCTATAAAAAGACA
Lin5	GAAGAAGAAGGCGGGTAC	ATACACAGCTGAAAGCAAGAT
Lin6	GGGAGAACAACAAGAGAG	ATACGACAGGAACAACACG
Lin7	GCCGCCAGAAGAAATG	ATACTGGCAGCTTAATCAACC
Lin8	TCTGGGTACAACCAGAAA	ATAGACTTAGAGACGATTGG
Lin9	CGTCTACAACCTGGAGACA	ATAGGCGACAAGGGAGG
Lin10	CAACGGAGACCAAATCAG	ATACCCAGTCTACTCAGCTAG
Lin11	TAGTAATAAGAAGGAGCC	ATAGCATCCAACAAGGGTG

*Разработка ФНИЦ ЛК / ООО «Синтол» / *Developed by FSC BC / LLC «Syntol»

Таблица 3 – Нуклеотидные последовательности праймеров второй линейки из 10 SSR-маркеров льна / Table 3 – Nucleotide sequences of primers of the second line* of 10 SSR-markers of flax*

<i>Кодировка / Code</i>	<i>Прямой праймер (5'-3' последовательность) / Forward primer (5'-3' sequence)</i>	<i>Обратный праймер (5'-3' последовательность) / Reverse primer (5'-3' sequence)</i>
Flu7	CATCCAACAAGGGTGGTG	GGAACAAGGGTAGCCATGA
Lu8	ACAATTGCTATTAGCTACAAGAGAG	CAGCATCCAGAGGTTCTCAC
Lu17	ATGATCGCATGAGCAAATTG	GTTTGTGAGGTGACGGTGAG
Lu28	TCCCAGCGAGTTTGGTGAG	TGGAGGAACATAATTGTGGCAAG
Lu3	CTTTTTTGAGTCACCAAGCC	CGCTGGAGTCTGAATCCTAG
Lu21	CCGAGTCCGAAAGAATCTGG	CAGCTCCCATTGTTGTTCCC
Lu13	TGTGCCAATAGCCATGTGAG	GTATGGCTTCCTATGGGCTAAC
Lu23	CATGACCATGTGATTAGCATCG	CATAGGAGGTGGGTTGCTGC
Flu8	TCCCGTAATATTCTATGTTCTTCC	TGAGTTGGACCTTACAAGACTCA
Flu5	TCTACAGAGTTCAATTCCCGTAA	GTTGGACCTTACAAGACTCACTG

*Разработка ИГиЦ НАН Беларуси / *Developed by IGC NAS Belarus

Реакционная смесь для проведения ПЦР объемом 25 мкл включала в себя 20 нг исследуемой ДНК, прямой и обратный праймеры (оптимальные концентрации определяли экспериментально), 200 мкМ dNTP, 2,5 мкМ MgCl₂ и 1 единицу Taq-полимеразы. Амплификацию осуществляли на термоциклере T100 MyCycler™ (Bio-Rad Laboratories, Inc.) при следующем режиме: начальная денатурация в течение 5 минут при температуре 94 °С; затем 35 циклов, включающих денатурацию при 94 °С (30 сек.), отжиг при температуре, подобранной для данной пары праймеров (45 сек.), и элонгацию при 72 °С

(40 сек.); завершающую терминальную элонгацию проводили при 72 °С в течение 5 минут.

Фрагментный анализ осуществляли после предварительной денатурации полученных ПЦР-продуктов с добавлением формамида, затем образцы разделяли с помощью капиллярного электрофореза на генетическом анализаторе НАНОФОР 05 (ООО «НПФ Синтол») с использованием молекулярного маркера СД-450 СИНТОЛ (РФ). Полученные экспериментальные данные служили основой для проведения кластерного анализа и построения дендрограмм генетического подобию с помощью программного обеспечения DARwin v. 6.

Для оценки полиморфизма микросателлитных локусов использован индекс PIC (Polymorphic Index Content):

$$PIC = 1 - \sum(P_i^2),$$

где P_i – частота i аллели, определенной в данном массиве.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенного SSR-анализа с применением двух наборов маркеров были получены экспериментальные данные, характеризующие гене-

тический профиль исследуемых линий льна, что позволило оценить степень генетического полиморфизма, генетическую однородность и составить молекулярно-генетические паспорта.

Изучение генетического разнообразия 24 исследованных линий льна с помощью указанных маркеров выявило достаточно высокий уровень полиморфности, показатели которого приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика полиморфных SSR-локусов, выявленных при анализе 24 исследованных линий льна /

Table 4 – Characteristics of polymorphic SSR loci identified during the analysis of 24 studied flax lines

<i>Экспериментальные линейки SSR-маркеров льна / Experimental lines of SSR-markers for flax</i>					
<i>кодировка / code</i>	<i>первая */ first*</i>		<i>вторая** / second**</i>		
	<i>аллели / alleles</i>	<i>PIC</i>	<i>кодировка / code</i>	<i>аллели / alleles</i>	<i>PIC</i>
Lin1	325	0	Lu17	287-289	0,430
Lin2	425	0	Lu3	145-157	0,684
Lin3	216	0	Lu28	167-188	0,613
Lin4	309-318	0,471	Lu8	188-220	0,837
Lin5	407-419	0,485	Flu7	128-148	0,554
Lin6	164-193	0,508	Flu8	164-204	0,882
Lin7	381-390	0,684	Lu13	373-377	0,568
Lin8	137-155	0,712	Flu25	173-213	0,805
Lin9	289-297	0,619	Lu21	217-219	0,485
Lin10	265-268	0,516	Lu23	232-252	0,731
Lin11	157-182	0,814	-	-	-
Среднее на локус / Average per locus		0,437	Среднее на локус / Average per locus		0,659

* Разработка ФНЦ ЛК / ООО «Синтол»; ** Разработка ИГиЦ НАН Беларуси /

* Developed by FSC BC / LLC «Syntol»; ** Developed by IGC NAS Belarus

В первой линейке маркеров ФНЦ ЛК было обнаружено 32 аллели, а во второй линейке ИГиЦ НАН Беларуси – 47. При этом количество аллелей на локус для первого набора варьировало от 1 до 7, а для второго – от 2 до 13, что свидетельствует о значительном генетическом разнообразии. Кроме того, на нескольких локусах были выявлены уникальные аллели, характерные для отдельных генотипов (К-7476*, К-7487*, К-7478*, К-7483*, К-7490*). Проведенный микросателлитный анализ позволил выделить наиболее эффективные маркеры первой линейки – Lin8, Lin11, и второй линейки – Flu8, Lu8, Flu25. Значения коэффициента полиморфизма (PIC) варьировали от 0 (локус Lin1–Lin3) до 0,882 (локус Flu8). Среднее значение PIC составило 0,437 для первого комплекса маркеров, 0,659 – для второго. Неин-

формативность маркеров Lin1–Lin3 в данном случае связана со спецификой маркерной линейки и происхождением исследованных линий из одного селекционного центра. Остальные SSR-маркеры демонстрируют достаточно высокий уровень полиморфизма и выявляют уникальные генотипы, что указывает на возможность их применения для изучения внутрисортовой генетической вариативности.

Результаты определения степени внутрисортовой генетической однородности 24 исследуемых линий льна, рассчитанные отдельно по двум наборам использованных SSR-маркеров, представлены в таблице 5. Уровень генетической однородности выражается в процентах и отражает средний уровень совпадения аллелей в линии.

Таблица 5 – Уровень генетической однородности исследованных линий льна, % /
Table 5 – Level of genetic homogeneity of the studied flax lines, %

№	Линия / Line	Экспериментальные линейки SSR-маркеров льна / Experimental lines of SSR-markers for flax	
		первая **/first	вторая*** /second
1	К-7473*	96	92
2	К-7474*	92	88
3	К-7475*	84	88
4	К-7476*	80	84
5	К-7477*	88	92
6	К-7478*	80	88
7	К-7479*	84	88
8	К-7480*	76	84
9	К-7481*	92	88
10	К-7482*	88	84
11	К-7483*	88	88
12	К-7484*	92	84
13	К-7485*	80	84
14	К-7486*	80	76
15	К-7487*	84	84
16	К-7488*	80	80
17	К-7489*	88	84
18	К-7490*	88	84
19	К-7491*	92	84
20	К-7492*	88	80
21	К-7493*	96	88
22	К-7494*	84	80
23	К-7495*	88	88
24	К-7496*	80	76
Среднее / Average		85,5	84

Примечания: полужирным шрифтом выделены самые низкие значения однородности; * часть обозначения линии, принятая селекционером; ** разработка ФНЦ ЛК / ООО «Синтол»; *** разработка ИГиЦ НАН Беларуси /

Notes: the lowest homogeneity values are shown in bold; *part of the line designation adopted by the breeder **developed by FSC BC / LLC «Syntol»; ***developed by IGC NAS Belarus

Значения внутрисортовой однородности, рассчитанные по SSR-маркерам набора ФНЦ ЛК / ООО «Синтол», находятся в диапазоне примерно от 76 до 96 %. По маркерам линейки ИГиЦ НАН Беларуси эти показатели несколько ниже – от 76 до 92 %. Несмотря на это, оба набора маркеров выявили высокую степень однородности, что подтверждает стабильность исследуемых линий. Набор ФНЦ ЛК / ООО «Синтол» характеризуется немного более высокими и переменными значениями однородности, что, вероятно, связано с функциональными особенностями выбранных маркеров. Набор ИГиЦ НАНБ включает больше поли-

морфных маркеров, способных выявлять более широкую генетическую вариабельность.

На основании полученных данных о генетическом профиле исследуемых 24 линий льна были сформированы их молекулярно-генетические паспорта. Молекулярно-генетический паспорт сорта представляет собой уникальный набор аллельных профилей по определенным молекулярным маркерам, выраженный в виде последовательности букв и чисел, которые отображают локусы и соответствующие им длины аллелей. Паспорта исследованных линий льна, полученных с использованием двух наборов SSR-маркеров, представлены в таблицах 6, 7.

Таблица 6 – Генетические паспорта исследованных образцов льна, полученных с использованием первой линейки SSR-маркеров /

Table 6 – Genetic passports of the studied flax samples obtained using the first line of SSR markers

<i>№</i>	<i>Линия / Line</i>	<i>Генетический паспорт / Genetic passport</i>
1	K-7473*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₀₇ F ₃₉₀ G ₁₈₀ H ₁₉₃ I _{137,147} J ₂₆₈ K ₂₉₄
2	K-7474*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₀₇ F ₃₉₀ G ₁₈₀ H ₁₉₃ I _{141,149} J ₂₆₈ K ₂₉₄
3	K-7475*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₀₇ F ₃₉₀ G ₁₈₀ H ₁₉₃ I ₁₄₉ J ₂₆₅ K ₂₈₉
4	K-7476*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₀₇ F ₃₈₄ G ₁₇₄ H ₁₈₇ I _{141,149} J ₂₆₅ K ₂₈₉
5	K-7477*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₁₉ F ₃₈₁ G ₁₈₀ H ₁₉₃ I _{149,155} J ₂₆₅ K ₂₉₄
6	K-7478*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₁₉ F ₃₈₁ G ₁₈₀ H _{177,187} I _{149,155} J ₂₆₅ K ₂₉₁
7	K-7479*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₁₉ F ₃₉₀ G ₁₈₂ H ₁₈₇ I _{149,155} J ₂₆₅ K ₂₈₉
8	K-7480*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₁₉ F ₃₉₀ G ₁₈₀ H ₁₈₇ I _{149,155} J ₂₆₅ K ₂₉₁
9	K-7481*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₁₈ E ₄₀₇ F ₃₉₀ G ₁₈₂ H ₁₆₄ I _{137,147} J ₂₆₅ K ₂₈₉
10	K-7482*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₀₇ F ₃₉₀ G ₁₈₀ H ₁₈₇ I _{141,149} J ₂₆₅ K ₂₉₄
11	K-7483*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₀₇ F ₃₉₀ G _{157,166} H ₁₉₃ I _{141,149} J ₂₆₅ K ₂₈₉
12	K-7484*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₀₇ F ₃₉₀ G ₁₇₄ H ₁₉₃ I _{141,149} J ₂₆₅ K ₂₈₉
13	K-7485*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₀₇ F ₃₉₀ G ₁₇₄ H ₁₉₃ I ₁₄₇ J ₂₆₅ K ₂₉₁
14	K-7486*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₁₉ F ₃₉₀ G ₁₈₂ H ₁₈₇ I ₁₄₉ J ₂₆₅ K ₂₉₁
15	K-7487*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₁₉ F ₃₈₁ G ₁₈₂ H ₁₈₇ I _{141,149} J ₂₆₅ K ₂₉₁
16	K-7488*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₁₉ F ₃₈₁ G ₁₈₂ H ₁₈₇ I _{141,149} J ₂₆₅ K ₂₉₇
17	K-7489*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₁₉ F ₃₈₁ G ₁₈₂ H ₁₈₇ I ₁₄₇ J ₂₆₅ K ₂₉₇
18	K-7490*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₁₉ F ₃₈₁ G ₁₈₀ H ₁₈₇ I ₁₅₅ J ₂₆₅ K ₂₉₇
19	K-7491*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₁₉ F ₃₈₁ G ₁₈₂ H ₁₈₇ I _{141,149} J ₂₆₅ K ₂₉₇
20	K-7492*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₀₇ F ₃₈₁ G ₁₇₄ H ₁₉₃ I ₁₅₅ J ₂₆₅ K ₂₉₄
21	K-7493*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₁₈ E ₄₁₉ F ₃₉₀ G ₁₈₂ H ₁₆₄ I ₁₄₉ J ₂₆₅ K ₂₉₁
22	K-7494*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₁₈ E ₄₁₉ F ₃₉₀ G ₁₈₂ H ₁₆₄ I _{137,147} J ₂₆₅ K ₂₉₁
23	K-7495*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₀₇ F ₃₉₀ G _{161,166} H ₁₆₄ I ₁₄₉ J ₂₆₅ K ₂₉₁
24	K-7496*	A ₃₂₅ B ₄₂₅ C ₂₁₆ D ₃₀₉ E ₄₀₇ F ₃₉₀ G _{161,166} H ₁₆₄ I _{147,149} J ₂₆₅ K ₂₈₉

Таблица 7 – Генетические паспорта исследованных образцов льна, полученных с использованием второй линейки SSR-маркеров /

Table 7 – Genetic passports of the studied flax samples obtained using the second line of SSR markers

<i>№</i>	<i>Линия / Line</i>	<i>Генетический паспорт / Genetic passport</i>
1	2	3
1	K-7473*	A ₃₇₅ B ₂₁₉ C ₁₄₄ D ₂₈₇ E ₂₅₂ F ₂₁₀ G _{147,157} H ₂₁₁ I ₂₀₀ J _{177,188}
2	K-7474*	A ₃₇₅ B ₂₁₉ C ₁₄₄ D ₂₈₇ E ₂₅₂ F ₂₁₀ G _{147,157} H _{200,211} I ₂₀₀ J _{177,188}
3	K-7475*	A ₃₇₇ B ₂₁₉ C ₁₄₄ D ₂₈₇ E ₂₄₉ F ₂₁₀ G _{145,155} H _{200,211} I ₂₀₀ J _{167,179}
4	K-7476*	A ₃₇₅ B ₂₁₇ C ₁₃₉ D ₂₈₇ E ₂₄₉ F ₂₁₃ G _{145,155} H _{210,220} I ₂₀₀ J _{167,179}
5	K-7477*	A ₃₇₇ B ₂₁₉ C ₁₄₄ D ₂₈₉ E ₂₅₂ F ₁₇₃ G ₁₅₅ H _{188,200} I ₂₀₂ J _{177,188}
6	K-7478*	A ₃₇₇ B ₂₁₇ C ₁₄₈ D ₂₈₉ E ₂₅₂ F ₁₇₃ G ₁₅₅ H _{190,200} I ₁₆₄ J _{167,179}
7	K-7479*	A ₃₇₇ B ₂₁₇ C ₁₄₈ D ₂₈₉ E ₂₄₉ F ₂₁₀ G ₁₅₅ H _{204,213} I ₂₀₀ J _{167,179}
8	K-7480*	A ₃₇₇ B ₂₁₇ C ₁₄₈ D ₂₈₇ E ₂₄₉ F ₂₁₀ G _{145,155} H _{204,213} I ₂₀₀ J _{167,179}
9	K-7481*	A ₃₇₇ B ₂₁₉ C ₁₄₈ D ₂₈₇ E ₂₅₂ F ₁₇₃ G ₁₅₅ H _{190,204} I ₁₆₄ J _{167,179}
10	K-7482*	A ₃₇₇ B ₂₁₇ C ₁₄₄ D ₂₈₇ E ₂₄₉ F ₂₁₀ G ₁₅₅ H _{202,213} I ₂₀₀ J _{167,179}
11	K-7483*	A ₃₇₃ B ₂₁₉ C ₁₂₈ D ₂₈₇ E ₂₄₆ F ₂₁₃ G _{145,155} H _{200,211} I ₂₀₂ J _{167,179}
12	K-7484*	A ₃₇₅ B ₂₁₉ C ₁₃₉ D ₂₈₇ E ₂₄₆ F ₂₁₃ G _{145,155} H _{202,213} I ₂₀₂ J _{167,179}
13	K-7485*	A ₃₇₃ B ₂₁₉ C ₁₃₉ D ₂₈₇ E ₂₄₆ F ₂₁₃ G ₁₅₅ H ₂₁₀ I ₂₀₄ J _{167,179}

1	2	3
14	К-7486*	A ₃₇₇ B ₂₁₇ C ₁₄₈ D ₂₈₉ E ₂₄₆ F ₂₁₀ G ₁₅₅ H _{190,200} I ₂₀₀ J _{167,179}
15	К-7487*	A ₃₇₇ B ₂₁₇ C ₁₄₈ D ₂₈₉ E ₂₄₆ F ₂₀₇ G _{145,155} H _{206,216} I ₁₉₇ J _{167,179}
16	К-7488*	A ₃₇₇ B ₂₁₇ C ₁₄₈ D ₂₈₉ E ₂₄₆ F ₂₁₀ G _{145,155} H _{188,198} I ₂₀₀ J _{167,179}
17	К-7489*	A ₃₇₇ B ₂₁₇ C ₁₄₈ D ₂₈₉ E ₂₄₉ F ₂₁₀ G ₁₅₅ H _{188,198} I ₂₀₀ J _{167,179}
18	К-7490*	A ₃₇₇ B ₂₁₇ C ₁₄₄ D ₂₈₉ E ₂₄₉ F ₁₈₀ G ₁₅₅ H _{200,213} I ₁₇₀ J _{167,179}
19	К-7491*	A ₃₇₇ B ₂₁₇ C ₁₄₈ D ₂₈₉ E ₂₄₉ F ₂₁₀ G _{145,155} H _{188,198} I ₂₀₀ J _{167,179}
20	К-7492*	A ₃₇₇ B ₂₁₉ C ₁₃₉ D ₂₈₉ E _{232,252} F ₁₇₃ G _{147,157} H _{188,198} I ₂₀₄ J _{167,179}
21	К-7493*	A ₃₇₇ B ₂₁₉ C ₁₄₈ D ₂₈₇ E ₂₅₂ F ₁₇₃ G ₁₅₅ H _{188,198} I ₁₆₄ J _{167,179}
22	К-7494*	A ₃₇₇ B ₂₁₉ C ₁₄₈ D ₂₈₇ E _{232,252} F ₁₇₃ G ₁₅₅ H _{188,198} I ₁₆₄ J _{167,179}
23	К-7495*	A ₃₇₇ B ₂₁₉ C ₁₂₈ D ₂₈₇ E ₂₄₉ F ₂₁₃ G ₁₅₅ H _{200,210} I ₂₀₄ J _{167,179}
24	К-7496*	A ₃₇₃ B ₂₁₉ C ₁₂₈ D ₂₈₇ E ₂₄₉ F ₂₁₃ G _{145,155} H _{202,211} I ₂₀₄ J _{167,179}

*Часть обозначения линии, принятая селекционером / *Part of the line designation adopted by the breeder

По результатам SSR-анализа проведен кластерный анализ исследованных линий льна для двух использованных наборов маркеров. С применением метода «neighbor joining method» (NJ) были построены дендрограммы генетического подобия между изученными образцами.

Дендрограмма генетического подобия 24 линий льна, исследованных с использованием первой линейки 11 SSR-маркеров льна разработки ФНЦ ЛК / ООО «Синтол», представлена на рисунке 1.

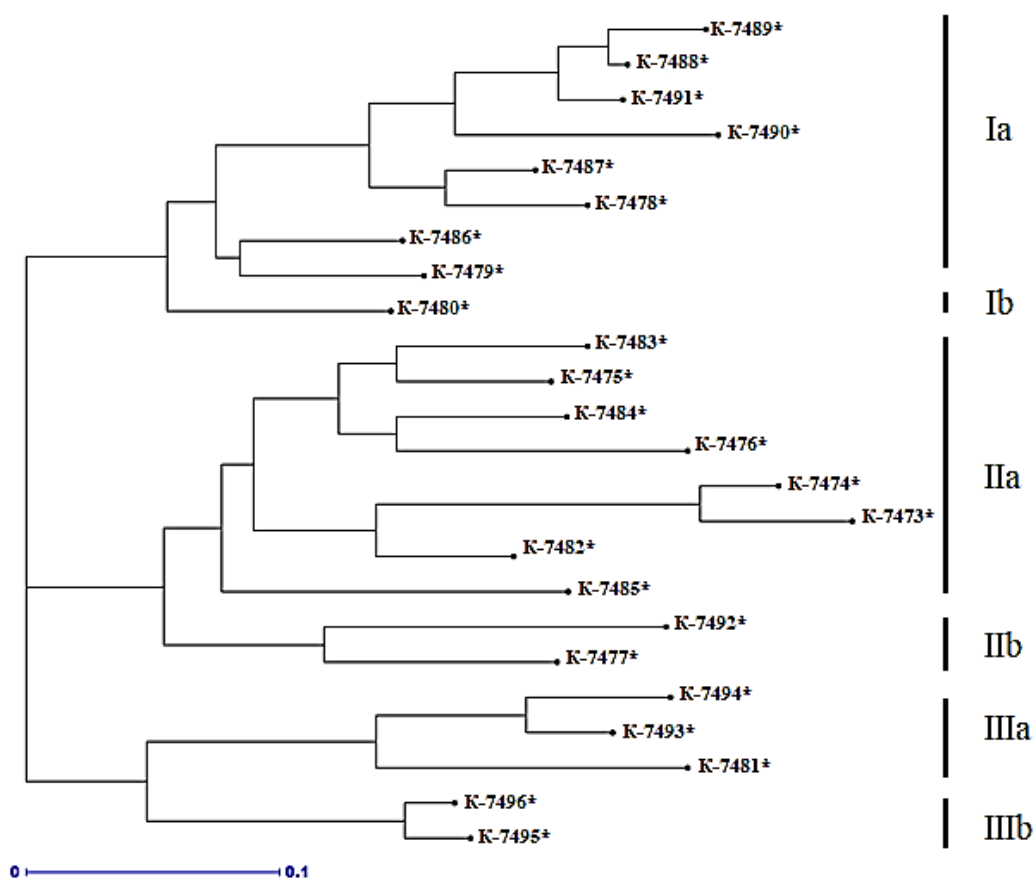


Рис. 1. Дендрограмма генетического подобия исследованных образцов, полученных с использованием первой линейки SSR-маркеров льна, построенная методом NJ /

Fig. 1. Dendrogram of genetic similarity of the studied samples obtained using the first line of SSR-markers of flax, constructed using the NJ method

Анализ дендрограммы изученных линий выявил их разделение на три основных кластера. В подкластер Ia вошли линии, которые происходят от различных скрещиваний, где одним из родителей были линии П-160 (К-7487*, К-7488*, К-7489*, К-7491*), М-291 (К-7487*, К-7490*), сорт Мерилин (К-7478*, К-7479*). Особняком находится линия К-7480*, происходящая от скрещиваний линий Лада х Л.222.

В подкластер Па вошли линии, происходящие от различных скрещиваний, где одним из родителей были сорта льна-долгунца: А 93 (К-7483*, К-7484*, К-7485*), Альфа (К-7484*, К-7485*), Тверца (К-7483*). Внутри этого подкластера отдельной группой выделены линии,

полученные от скрещивания сорта Василек с линией Л-255 (К-7473*, К-7474*). Кроме того, в отдельный подкластер вошли линии К-7477* и К-7492*.

III кластер четко разделился на два подкластера в соответствии с происхождением. Линии К-7481*, К-7493* и К-7494* получены из комбинаций линий Л.2072.6.10 и Л.1596.7.8. Линии К-7495*, К-7496* происходят от сортов льна-долгунца А 93 и Тверской.

Дендрограмма генетического подобия 24 линий льна, исследованных с использованием 10 SSR-маркеров льна разработки ИГиЦ НАН Беларуси, изображена на рисунке 2.

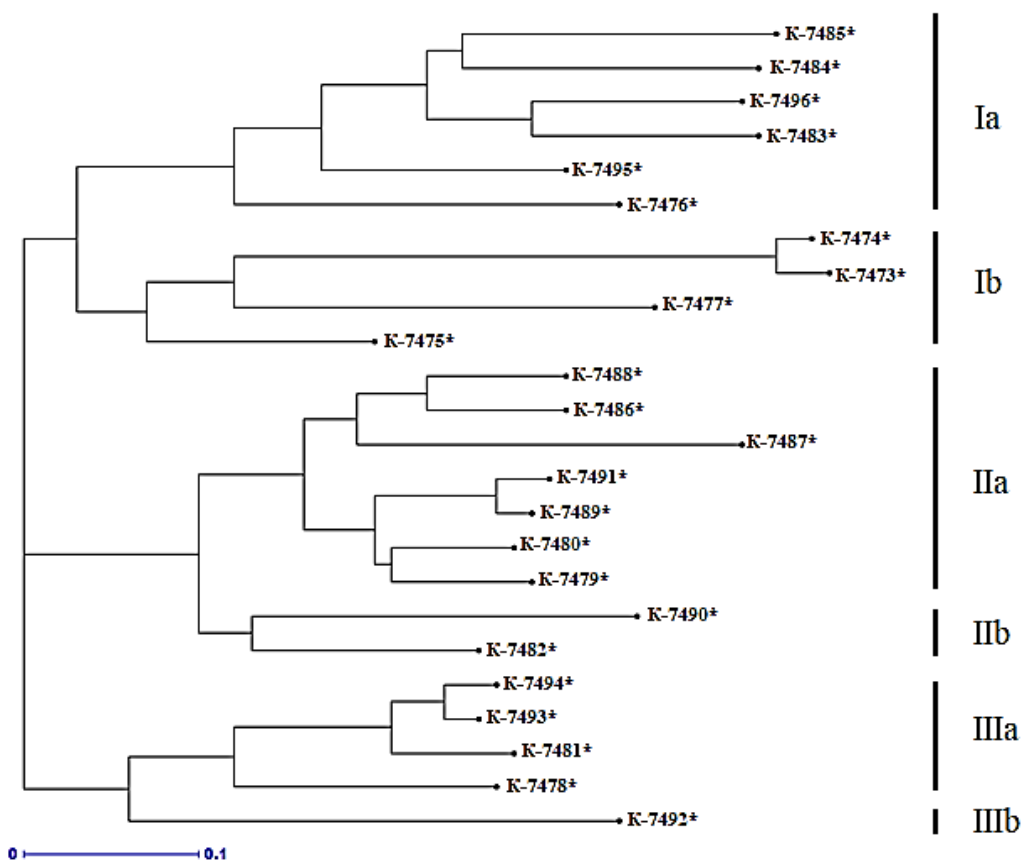


Рис. 2. Дендрограмма генетического подобия исследованных образцов, полученных с использованием второй линейки SSR-маркеров льна, построенная методом NJ /

Fig. 2. Dendrogram of genetic similarity of the studied samples obtained using the second line of SSR-markers of flax, constructed using the NJ method

При анализе дендрограммы изученных линий наблюдается их разделение на три кластера. В подкластер Ia вошли линии, которые происходят от различных комбинаций сорта А 93 с другими сортами льна-долгунца: Альфа (К-7484*, К-7485*), Тверской (К-7495*, К-7496*) и Тверца (К-7483*). Особняком в данном подкластере находится линия К-7476*, происходящая от скрещивания линий М-289 и М-290.

В подкластер Ib вошли линии, полученные от различных комбинаций линии Л-255 (К-7473*, К-7474*, К-7475*, К-7477*).

Основную часть подкластера Па составляют линии, происходящие от различных комбинаций линий П-160 и М-244 (К-7487*, К-7488*, К-7489*, К-7491*). В отдельный подкластер Pb вошли линии К-7482* и К-7490*.

В отдельную группу в подкластере IIIa вошли линии, происходящие от комбинации линий Л.2072.6.10 и Л.1596.7.8 (К-7481*, К-7493* и К-7494*). Особняком в этом подкластере стоит линия К-7478*, полученная при скрещивании сортов льна-долгунца Викинг и Мерилин. Линия К-7482*, происходящая от скрещивания линий Л.164.8.3 и Л.1596.7.8, выделилась в отдельный подкластер (IIIb).

Анализ полученных дендрограмм демонстрирует приблизительно одинаковую разрешающую способность двух использованных линеек SSR-маркеров льна. Следует отметить комплементарность результатов двух примененных маркерных систем, дополняющих друг друга. Поскольку каждая линейка маркеров разрабатывалась с использованием разных теоретических подходов, кластеризация образцов на дендрограммах отражает различные филогенетические стороны исследованных форм. Все образцы были полностью дифференцированы, полученные с использованием как первой, так и второй линейки маркеров генетические паспорта можно считать достоверными, отражающими филогенетические отношения новых линий.

Заключение. В результате проведенного исследования были сформированы генетические паспорта (генетические профили) 24 представленных образцов линий льна, что позволило получить подробную и достоверную информацию об их генетическом разнообразии и уникальных характеристиках.

Продемонстрирована высокая дифференцирующая способность линеек SSR-маркеров

отечественной и зарубежной разработки, что подтверждает их эффективность для генетического анализа и идентификации сортов, а также их потенциал для использования в селекционной работе и мониторинге генетического разнообразия.

Более полиморфный набор маркеров второй линейки (разработка ИГиЦ НАН Беларуси) может выявлять скрытые вариации, которые менее заметны при использовании маркеров первой линейки (ФНЦ ЛК / ООО «Синтол»). Это полезно при расширенном анализе генетической структуры, но может создавать дополнительные сложности при оперативном контроле однородности. Высокая однородность по маркерам первой линейки может служить более весомым аргументом при регистрации новых сортов и защите интеллектуальной собственности, поскольку отражает стабильность генотипа. Можно рекомендовать комбинированное применение обоих наборов маркеров: первой линейки – для регулярного контроля селекционной стабильности и подтверждения однородности; второй линейки – для углубленного анализа генетического разнообразия и выявления редких вариаций.

Данные результаты создают надежную основу для дальнейших исследований в области генетики льна, способствуют улучшению методов селекции, обеспечивают инструменты для точной идентификации и классификации сортов, что важно для сохранения и рационального использования генетических ресурсов.

References

1. Stavropoulos P., Mavroeidis A., Papadopoulou G., Roussis I., Bilalis D., Kakabouki I. On the path towards a «Greener» EU: A Mini review on Flax (*Linum usitatissimum* L.) as a Case Study. *Plants*. 2023;12(5):1102. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12051102>
2. Zhernova D. A., Pushkova E. N., Rozhmina T. A., Borkhert E. V., Arkhipov A. A., Sigova E. A. et al. History and prospects of flax genetic markers. *Frontiers in Plant Science*. 2025;15:1495069. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1495069>
3. Sa R., Yi L., Siqin B., An M., Bao H., Song X. et al. Chromosome-Level Genome Assembly and Annotation of the Fiber Flax (*Linum usitatissimum*) Genome. *Frontiers in Genetics*. 2021;12:735690. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.735690>
4. Begna T. Conventional breeding methods widely used to improve self-pollinated crops. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*. 2021;7(1):2454–6224. DOI: <https://doi.org/10.20431/2454-6224.0701001>
5. Lamichhane S., Thapa S. Advances from conventional to modern plant breeding methodologies. *Plant Breeding and Biotechnology*. 2022;10(1):1-14. DOI: <https://doi.org/10.9787/PBB.2022.10.1.1>
6. Alemu A., Astrand J., Montesinos-López O. A., Y Sánchez J. I., Fernández-González J., Tadesse W. et al. Genomic selection in plant breeding: Key factors shaping two decades of progress. *Molecular Plant*. 2024;17(4):552–578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2024.03.007>

7. Merrick L. F., Carter A. H. Comparison of genomic selection models for exploring predictive ability of complex traits in breeding programs. *The Plant Genome*. 2021;14(3):e20158. DOI: <https://doi.org/10.1002/tpg2.20158>
8. You F. M., Cloutier S. Mapping quantitative trait loci onto chromosome-scale pseudomolecules in flax. *Methods and Protocols*. 2020;3(2):28. DOI: <https://doi.org/10.3390/mps3020028>
9. Kocak M. Z., Kaysim M. G., Aydin A., Erdinc C., Kulak M. Genetic diversity of flax genotypes (*Linum usitatissimum* L.) by using agro-morphological properties and molecular markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2023;70:2279–2306. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01608-6>
10. Hasan N., Choudhary S., Naaz N., Sharma N., Laskar R. A. Recent advancements in molecular marker-assisted selection and applications in plant breeding programmes. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2021;19(1):128. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00231-1>
11. Гучетль С. З., Челюстникова Т. А., Аверина А. А. Анализ структуры сортов масличного льна на основе полиморфных микросателлитных локусов. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(2):184–193. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.184-193> EDN: SFHNSQ
- Guchetl S. Z., Chelyustnikova T. A., Averina A. A. Analysis of the structure of linseed flax varieties based on polymorphic microsatellite loci. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(2):184-193. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.184-193>
12. Nag S., Mandal R., Mitra J. Exploration of genetic structure and association mapping for fibre quality traits in global flax (*Linum usitatissimum* L.) collections utilizing SSRs markers. *Plant Gene*. 2020;24:100256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2020.100256>
13. Pan G., Chen A., Li J., Huang S., Tang H., Chang L., Zhao L., Li D. Genome-wide development of simple sequence repeats database for flax (*Linum usitatissimum* L.) and its use for genetic diversity assessment. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2020;67(4):865–874. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00882-y>
14. Chen C., Liu Y. Genetic diversity and distinctness of flax (*Linum usitatissimum* L.) based on morphological and simple sequence repeat (SSR) markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2024;71:4763–4777. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-024-01933-4>
15. Pasquali E., Palumbo F., Barcaccia G. Assessment of the genetic distinctiveness and uniformity of pre-basic seed stocks of Italian ryegrass varieties. *Genes*. 2022;13(11):2097. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes13112097>
16. Shinde N. A., Bharose A. A., Sarode D. K., Swathi R. S., Pimpale P. A., Shinde S. S. Assessment of hybrid purity in maize (*Zea mays* L.) using RAPD and SSR markers. *The Pharma Innovation Journal*. 2021;10(4):870–874. URL: <https://www.thepharmajournal.com/archives/2021/vol10issue4/PartM/10-4-124-215.pdf>
17. Базанов Т. А., Ущиповский И. В., Логинова Н. Н., Смирнова Е. В., Михайлова П. Д. Молекулярно-генетическое разнообразие сортов льна (*Linum usitatissimum* L.), представленных в Госреестре селекционных достижений Российской Федерации. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):163–176. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-163-176> EDN: JQGLX
- Bazanov T. A., Uschapovsky I. V., Loginova N. N., Smirnova E. V., Mikhailova P. D. Molecular genetic diversity of flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.) represented in the State Register for Selection Achievements of the Russian Federation. *Trudi po prikladnoy botanike, genetike i seleksii = Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2023;184(1):163–176. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-163-176>
18. Богдан В. З., Лемеш В. А., Богданова М. В., Богдан Т. М., Литарная М. А. Генетическая паспортизация новых сортов льна-долгунца белорусской селекции с использованием молекулярных маркеров. *Земледелие и растениеводство*. 2022;(6):48–52.
- Bogdan V. Z., Lemesh V. A., Bogdanova M. V., Bogdan T. M., Li-tarnaya M. A. Genetic certification of new cultivars of fiber flax of Belarusian breeding using molecular markers. *Zemledelie i rastenievodstvo = Crop Farming and Plant Growing*. 2022;(6):48–52. (In Belarus).

Сведения об авторах

✉ **Базанов Тарас Александрович**, кандидат хим. наук, заведующий лабораторией молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9544-5528>, e-mail: t.bazanov@fncl.ru

Ущиповский Игорь Валентинович, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, заместитель директора по науке, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>

Рожмина Татьяна Александровна, доктор биол. наук, заведующая лабораторией селекционных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8204-7341>

Логина Наталья Николаевна, научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4633-392X>

Минина Екатерина Витальевна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6559-9577>

Вересова Полина Дмитриевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7797-2578>

Information about the authors

✉ **Taras A. Bazanov**, PhD in Chemical Science, Head of the Laboratory of the Molecular-Genetic Research and Cell Selection, leading researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9544-5528>, e-mail: t.bazanov@fncl.ru

Igor V. Ushapovsky, PhD in Biological Science, leading researcher, the Laboratory of the Molecular-Genetic Research and Cell Selection, Deputy Director for Science, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>

Tatyana A. Rozhmina, DSc in Biology, Head of the Laboratory of Breeding Technologies, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8204-7341>

Natalya N. Loginova, researcher, the Laboratory of the Molecular-Genetic Research and Cell Selection, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4633-392X>

Ekaterina V. Minina, postgraduate, junior researcher, the Laboratory of the Molecular-Genetic Research and Cell Selection, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6559-9577>

Polina D. Veresova, junior researcher, the Laboratory of the Molecular-Genetic Research and Cell Selection, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7797-2578>

✉ – Для контактов / Corresponding author

К вопросу изучения биохимического состава некоторых представителей рода *Thymus* L. в культуре

© 2025. К. А. Пупыкина¹, И. Е. Анищенко², Е. В. Красюк¹, О. Ю. Жигунов²✉, З. Х. Шигапов²

¹ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Уфа, Российская Федерация

²Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа, Российская Федерация

Представители рода *Thymus* (тимьян) широко применяются в народной медицине в качестве противовоспалительных, отхаркивающих, антибактериальных средств. Однако фармакопейными и разрешенными для применения в научной медицине являются два вида тимьяна: тимьян ползучий (*T. serpyllium* L.) и тимьян обыкновенный (*T. vulgaris* L.), поэтому исследование других видов является перспективным для расширения ресурсного потенциала представителей этого рода. В исследовательской работе отражены результаты изучения химического состава и некоторых товароведческих показателей качества сырья (влажность и зола общая) четырех таксонов рода *Thymus*: *T. serpyllum* L. (т. ползучий); *T. marschallianus* Willd. (т. Маршалла); *T. pseudonummularius* Klokov & Des.-Shost. (т. ложномонетный); *T. caucasicus* Willd. ex Benth. (т. кавказский), которые культивируются более 20 лет в Южно-Уральском ботаническом саду-институте УФИЦ РАН в коллекции «Ароматный сад». Установлено, что товароведческие показатели качества сырья исследуемых образцов тимьяна удовлетворяют требованиям фармакопейной статьи (ОФС 1.5.3.0007.15). Анализ химического состава исследуемых образцов тимьяна показал, что они содержат важные для пряно-ароматических растений биологически активные вещества – эфирные масла (0,88–1,37%), дубильные вещества (8,15–12,48%), аскорбиновую кислоту (0,069–0,102%), органические кислоты (2,19–3,58%), флавоноиды (1,73–2,38%). Лидирующее положение по всем показателям проведенного химического анализа занимает *T. marschallianus*, который превосходил фармакопейный вид (*T. serpyllum*) и может быть рекомендован в качестве альтернативного источника сырья для расширения сырьевой базы и дальнейшего изучения этого вида из других регионов РФ по показателям типовых разделов фармакопейной статьи «Подлинность» и «Испытания».

Ключевые слова: род *Thymus*, виды тимьяна, биологически активные вещества, количественное содержание, товароведческие показатели

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (тема № FMRS-2025-0018).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пупыкина К. А., Анищенко И. Е., Красюк Е. В., Жигунов О. Ю., Шигапов З. Х. К биохимии некоторых представителей рода *Thymus* L. в культуре. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025;26(6):1263–1271.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1263-1271>

Поступила: 03.04.2025

Принята к публикации: 20.11.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

To the biochemistry of some representatives of the genus *Thymus* L. under the culture

© 2025. Kira A. Pupykina¹, Irina E. Anishchenko², Ekaterina V. Krasnyuk¹, Oleg Yu. Zhigunov²✉, Zinnur Kh. Shigapov²

¹Bashkir State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Ufa, Russian Federation

²South-Ural Botanical Garden-Institute – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

Representatives of the genus *Thymus* (thyme) are widely used in folk medicine as anti-inflammatory, expectorant, anti-bacterial agents. However, two species of thyme are pharmacopeial and approved for use in scientific medicine: *T. serpyllium* L. and *T. vulgaris* L., therefore, the study of other species is promising for expanding the resource potential of representatives of this genus. The research provides the results of studying the chemical composition and some commodity quality indicators of raw materials (humidity and total ash) of four taxa of the genus *Thymus*: *T. serpyllum* L., *T. marschallianus* Willd., *T. pseudonummularius* Klokov & Des.-Shost., *T. caucasicus* Willd. ex Benth., which have been cultivated for more than 20 years in the South-Ural Botanical Garden-Institute of the UFRC RAS in the collection "Aromatic Garden". It has been established that the commodity quality indicators of the raw materials of the studied thyme samples meet the requirements of the pharmacopeial monograph (GM 1.5.3.0007.15). Analysis of the chemical composition of the studied thyme samples has shown that they contain biologically active substances important for spicy-aromatic plants - essential oils (0.88–1.37%), tannins

(8.15–12.48 %), ascorbic acid (0.069–0.102 %), organic acids (2.19–3.58 %), flavonoids (1.73–2.38 %). The leading position in all indicators of the conducted chemical analysis is occupied by *T. marschallianus*, which is superior to the pharmacopeial species (*T. serpyllum*) and can be recommended as an alternative source of raw materials for expanding the raw material base and further studying this species from other regions of the Russian Federation according to the indicators of the type sections of the pharmacopeial article "Identification" and "Tests."

Keywords: *Thymus* genus, species of Thyme, biologically active substances, quantitative content, commodity 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 Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (theme No. FMRS-2025-0018).

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

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

For citation: Pupykina K. A., Anishchenko I. E., Krasnyuk E. V., Zhigunov O. Yu., Shigapov Z. Kh. To the biochemistry of some representatives of the genus *Thymus* L. under the culture. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1263–1271. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1263-1271>

Received: 03.04.2025

Accepted for publication: 20.11.2025

Published online: 26.12.2025

Ароматические растения с годами приобретают все большую популярность среди многообразия растений, имеющих хозяйственно ценные качества. Это прежде всего обусловлено их многогранным использованием. Растения данной группы отличаются наличием в них эфирных масел, витаминов, пектинов, флавоноидов и других биологически активных веществ. Пряно-ароматические виды растений широко применяются человеком как пищевые и витаминоносные растения (базилик, петрушка, укроп, и др.), лекарственные (пижма, шалфей, мята и др.), декоративные (в озеленении садов, скверов, парков, создании пряных садов).

Род *Thymus* L. (Тимьян, или Чабрец) является одним из наиболее ценных родов пряно-ароматических растений в плане использования в качестве лекарственного сырья. Его виды встречаются в умеренном поясе Европы, Азии и Северной Африке. В составе флоры России выявлено около 160 видов тимьяна [1, 2].

В сырье изученных видов тимьяна содержатся эфирные масла (его компоненты – тимол, карвакрол), дубильные вещества, флавоноиды, органические кислоты, макро- и микроэлементы.

Существует множество представителей рода *Thymus*, которые в основном имеют применение в народной медицине и не входят в фармакопею, но они перспективны для расширения ресурсного потенциала представителей этого рода. Лишь тимьян обыкновенный и тимьян ползучий являются фармакопейными видами и разрешены для применения в научной медицине. Они обладают ценными фармакологическими свойствами и применяются как противовоспалительные, отхаркивающие, антибактериальные средства, экстракт травы тимьянов этих видов входит в состав сиропа от кашля «Пертуссин», используют в качестве душистой пряности. Цветки тимьянов выделяют душистый нектар, в связи с этим они выступают в качестве

прекрасных медоносов, а также используются в озеленении как декоративные почвопокровники [3, 4].

Согласно литературным данным, биохимический состав в основном изучался у *T. Serpyllum* [5, 6, 7] и *T. marschallianus* [8, 9]. Большое количество работ посвящено оценке содержания эфирных масел таких видов, как т. Палласа в Саратовской области [10]; т. блошиный – в Брянской области, т. двуликий – Курской области [11, 12], т. байкальский в Забайкалье [13], т. крымский [14]. Фенольные соединения изучали в сырье т. ползучего, т. блошиного, т. Маршалла, т. мелового, т. Палласа, т. двуликого, т. Черняева [15, 16]. Изучены органические кислоты и жирнокислотный состав т. Палласа и т. Маршалла [17]. Биохимический состав видов – тимьян ложномонетный и тимьян кавказский не изучали.

Ввиду недостаточной изученности биохимического состава различных культивируемых видов тимьяна, возникла потребность в проведении данного исследования.

Цель исследования – сравнительное изучение показателей качества и количественного содержания некоторых групп биологически активных веществ у четырех представителей рода *Thymus*: *T. serpyllum* L. (т. ползучий); *T. marschallianus* Willd. (т. Маршалла); *T. pseudonummularius* Klokov & Des.-Shost., (т. ложномонетный); *T. caucasicus* Willd. ex Benth.; (т. кавказский), культивируемых в Южно-Уральском ботаническом саду-институте УФИЦ РАН.

Научная новизна – впервые проведено сравнительное изучение химического состава представителей рода *Thymus* L., интродуцированных в условиях Республики Башкортостан, определены показатели подлинности и доброкачественности сырья, установлено количественное содержание основных групп биологически активных веществ.

Материал и методы. Виды рода *Thymus* представляют собой приземистые стелющиеся многолетние растения (жизненная форма – кустарнички или полукустарнички).

T. pseudonummularius – эндемик западной части Главного Кавказского хребта. В условиях культуры на Южном Урале достигает до 20 см высоты, образует довольно крупные подушковидные куртины диаметром до 70 см.

T. caucasicus – в природе встречается на альпийских лугах Главного Кавказского хребта, высота при культивировании до 18 см, диаметр куртины – 80 см.

T. marschallianus – вид лесостепной и степной зон восточной Европы, юг западной Сибири и средней Азии, в культуре высотой 10–12 см.

T. serpyllum – евро-азиатский вид с дизъюнктивным ареалом. Произрастает преимущественно в степной зоне. В культуре высотой до 5 см. Листья короткочерешковые, эллиптические. Цветки розово-лиловые собраны в компактную головку [18, 19, 20].

Изученные виды тимьяна выращивали на почвах, где почвообразующими породами служат элювий и делювиальные желто-бурые тяжелые суглинки, перекрывающие коренные породы пермской системы. Их разнообразие обуславливает контрастность почвенного покрова в пределах серых лесных и темно-серых лесных почв с различной мощностью почвенного профиля, который характеризуется большой уплотненностью. Содержание гумуса в перегнойно-аккумулятивном горизонте серых лесных почв 3,0–5,5 %, в почвах, находящихся под лесом – 6–7 %. Реакция среды – слабокислая или близкая к нейтральной.

Для выявления некоторых показателей химического состава 4 таксонов тимьяна сырье

заготавливали в период массового цветения в 2022–2024 гг. Показатели качества анализируемых образцов (среднее за три года) определяли в аналитических пробах в трех повторностях. Сушку растений проводили общепринятым (воздушно-теневым) методом в вентилируемых помещениях. Образцы хранили в пакетах из полиэтиленовой пленки согласно требованиям Государственной фармакопеи (ГФ РФ), ОФС.1.1.0019.15¹.

Определение влажности в образце сырья проводили по ГФ РФ XV, ОФС 1.5.3.0007.15², золы общей – ГФ РФ XV «Зола общая», ОФС.1.2.2.2.0013³.

Аскорбиновую кислоту определяли по ГФ РФ XV «Шиповника плодь», ФС.2.5.0106.18⁴ титриметрическим методом, используя в качестве титранта 0,001 М раствор 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия, титрование вели в кислой среде до розового окрашивания. Количественное определение суммы органических кислот в пересчете на яблочную кислоту – по ГФ РФ XV «Шиповника плоды низковитаминные», ФС.2.5.0134⁵ титриметрическим методом, основанным на титровании органических кислот 0,1 М раствором натрия гидроксида, в присутствии индикатора – фенолфталеина до лиловой окраски.

Количественное определение содержания дубильных веществ в пересчете на танин проводили методом окислительно-восстановительного титрования в соответствии с требованиями ГФ РФ XV «Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных средствах растительного происхождения», ОФС.1.5.3.0008⁶.

¹ОФС.1.1.019. Упаковка, маркировка и перевозка лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов: Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. [Электронный ресурс].

URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-1/upakovka-markirovka-i-perevozka-lekarstvennogo-rastitelnogo-syrya-i-lekarstvennykh-rastitelnykh-prep/> (дата обращения: 21.05.2025).

²ОФС.1.5.3.0007.15. Определение влажности лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов: Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. [Электронный ресурс].

URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/1/1-5/1-5-3/opredelenie-vlazhnosti-lekarstvennogo-rastitelnogo-syrya-i-lekarstvennykh-rastitelnykh-preparatov/> (дата обращения: 21.05.2025).

³ОФС.1.2.2.2.0013. Зола общая: Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. [Электронный ресурс]. URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia-projects/izdanie-15/1/1-2/1-2-2-2/zola-obshchaya/?vers=7131&projects=Y> (дата обращения: 21.05.2025).

⁴ФС.2.5.0106. Шиповника плоды: Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. [Электронный ресурс]. URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/2/2-3/shipovnika-plody/> (дата обращения: 21.05.2025).

⁵ФС.2.5.0134. Шиповника плоды низковитаминные: Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. [Электронный ресурс]. URL: https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/2/2-3/shipovnika-plody-nizkovitaminnye/?sphrase_id=1392721 (дата обращения: 21.05.2025).

⁶ОФС.1.5.3.0008. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных средствах растительного происхождения: Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. [Электронный ресурс]. URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-5/1-5-1/opredelenie-soderzhaniya-dubilnykh-veshchestv-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennykh-sredstv/> (дата обращения: 21.05.2025).

В качестве титранта использовали 0,02 М раствор калия перманганата в присутствии индикатора индигосульфокислоты, титрование вели до золотисто-желтого окрашивания.

Содержание флавоноидов определяли методом дифференциальной спектрофотометрии по разработанной нами методике с подбором оптимальных условий экстракции⁷. Содержание эфирного масла в растительном сырье находили по методу 1 (с использованием приемника Гинзберга) путем перегонки с водяным паром и последующим измерением объема.

Таблица 1 – Показатели влажности и золы общей в исследуемых образцах надземной части тимьяна, % (в среднем за 2022–2024 гг., $x_{cp. \pm \Delta x}$) /

Table 1 – Indicators of moisture and total ash in the test samples of the aboveground part of thyme, % (average for 2022–2024, $x_{av. \pm \Delta x}$)

Образец / Sample	Влажность / Humidity	Зола общая / Total ash
<i>T. serpyllum</i>	8,70±0,42	7,85±0,36
<i>T. marschallianus</i>	8,72±0,41	7,60±0,33
<i>T. pseudonummularius</i>	6,81±0,32	7,38±0,34
<i>T. caucasicus</i>	6,92±0,34	7,44±0,35

Показатели содержания влажности в исследуемых образцах видов тимьяна находились в пределах 6,81–8,72 %, золы общей – 7,38–7,85 %, что укладывается в допустимые границы (не более 13 % и не более 12 % соответственно),

Содержание масла выражали в объемно-весовых процентах в пересчете на абсолютно сухое сырье, ГФ РФ XV, ОФС.1.5.3.0010.15⁸.

Статистическую обработку результатов химического эксперимента проводили в соответствии с требованиями ГФ РФ XV издания, ОФС 1.1.0013.15⁹.

Результаты и их обсуждение. Результаты определения товароведческих показателей качества сырья изученных таксонов тимьяна представлены в таблице 1.

Таблица 2 – Содержание эфирного масла в сырье различных видов тимьяна, % (в среднем за 2022–2024 гг., $x_{cp. \pm \Delta x}$) /

Table 2 – Content of essential oil in the raw materials of various species of thyme, % (average for 2022–2024, $x_{av. \pm \Delta x}$)

Образец / Sample	Содержание эфирного масла / Essential oil content
<i>T. serpyllum</i>	1,12±0,05
<i>T. marschallianus</i>	1,37±0,06
<i>T. pseudonummularius</i>	0,88±0,04
<i>T. caucasicus</i>	1,07±0,33

указанные в фармакопейной статье на траву тимьяна (чабреца)¹⁰.

Результаты исследования по определению содержания эфирного масла в растительном сырье различных видов тимьяна представлены в таблице 2.

⁷Красюк Е. В., Пупыкина К. А., Хамидуллин Б. Р., Шамраева А. А. Качественный и количественный анализ фенольных соединений травы тимьяна. Актуальные вопросы охраны биоразнообразия: маг-лы IV Международ. научн. конф., посвящ. 60-летию башкирского отделения Русского ботанического общества, 100-летию со дня рожд. проф. Е. В. Кучерова. Уфа: Уфимский ун-т науки и технологий, 2024. С. 437–440.

⁸ОФС.1.5.3.0010.15. Определение содержания эфирного масла в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах: Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. [Электронный ресурс]. URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia-projects/izdanie-13/1/1-5/1-5-3/1-5-3-10/?vers=859%20opredelenie-soderzhaniya-efirnogo-masla-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennykh-sred/> (дата обращения: 21.05.2025)

⁹ОФС 1.1.0013.15. Статистическая обработка результатов химического эксперимента: Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. [Электронный ресурс]. URL: https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/1/1-1/statisticheskaya-obrabotka-rezultatov-khimicheskogo-eksperimenta/?sphrase_id=1392767 (дата обращения: 21.05.2025).

¹⁰ФС.2.5.0047.15. Чабреца трава: Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. [Электронный ресурс]. URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-13/2/2-5/2-5-47/chabretsa-trava-thymi-serpylli-herba/?ysclid=mi65hzdkd0169228417> (дата обращения: 21.05.2025).

Показатель содержания эфирного масла в траве тимьяна не нормируется в нормативной документации, поэтому представляло интерес определить данную группу веществ, так как эфирное масло тимьяна обеспечивает не только своеобразный запах сырья, но и фармакологическую активность – противовоспалительную, отхаркивающую. В результате эфирное масло, полученное из надземной части 4 видов тимьяна, представляло собой маслянистую жидкость бледно-желтого цвета, с приятным, нерезким ароматным запахом. Наибольшее содержание эфирного масла наблюдали в образце *T. marscha-*

lianus ($1,37 \pm 0,06$ %), что в 1,22 раза превосходило показатели фармакопейного вида (*T. serpyllum*) и в 1,56 раза *T. pseudonummularius*, у которого отмечали наименьшее количество эфирного масла ($0,88 \pm 0,04$ %). Эти данные согласуются с результатами других исследований [9], где также выявлены более высокие показатели содержания эфирного масла в траве *T. marschallianus* (в 3 раза) по сравнению с *T. serpyllum*.

Результаты исследований по определению содержания аскорбиновой кислоты и суммы органических веществ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание аскорбиновой кислоты и свободных органических кислот в сырье различных видов тимьяна, % (в среднем за 2022–2024 гг., $x_{cp} \pm \Delta x$) /

Table 3 – Content of ascorbic acid and free organic acids in the raw materials of various species of thyme, % (average for 2022–2024, $x_{av} \pm \Delta x$)

Образец / Sample	Аскорбиновая кислота / Ascorbic acid	Свободные органические кислоты / Free organic acids
<i>T. serpyllum</i>	$0,094 \pm 0,004$	$3,11 \pm 0,14$
<i>T. marschallianus</i>	$0,102 \pm 0,005$	$3,58 \pm 0,16$
<i>T. pseudonummularius</i>	$0,076 \pm 0,003$	$2,45 \pm 0,10$
<i>T. caucasicus</i>	$0,069 \pm 0,003$	$2,19 \pm 0,08$

Органические кислоты, в том числе аскорбиновая кислота, имеют важное значение для человека, так как принимают активное участие в обмене веществ, окислительно-восстановительных процессах, поддержании кислотно-щелочного баланса, а аскорбиновая кислота обладает общеукрепляющим действием, поэтому проведено изучение их содержания в исследуемых объектах. Сравнивая полученные результаты, следует отметить достаточно высокое содержание данной группы веществ в исследуемых объектах. Также было установлено, что наибольшее содержание аскорбиновой кислоты и свободных

органических кислот зафиксировано в сырье *T. marschallianus* ($0,102 \pm 0,005$ % и $3,58 \pm 0,16$ % соответственно). Показатели содержания аскорбиновой кислоты в *T. marschallianus* превосходили *T. serpyllum* в 1,10 раза, *T. caucasicus* с наименьшим содержанием ($0,069 \pm 0,003$ %) – в 1,5 раза, свободных органических кислот больше, чем в *T. Serpyllum* – в 1,15 раза, в *T. caucasicus* – в 1,63 раза.

Содержание дубильных веществ в сырье различных видов тимьяна представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание дубильных веществ в сырье различных видов тимьяна, % (в среднем за 2022–2024 гг., $x_{cp} \pm \Delta x$) /

Table 4 – Content of tannins in the raw materials of various species of thyme, % (average for 2022–2024, $x_{av} \pm \Delta x$)

Образец / Sample	Содержание дубильных веществ / Content of tannins
<i>T. serpyllum</i>	$12,05 \pm 0,48$
<i>T. marschallianus</i>	$12,48 \pm 0,52$
<i>T. pseudonummularius</i>	$9,58 \pm 0,39$
<i>T. caucasicus</i>	$8,15 \pm 0,35$

По содержанию дубильных веществ, обладающих выраженным противовоспалительным и вяжущим действием, лидером также являлся *T. marschallianus* ($12,48 \pm 0,52$ %), превосходя фармакопейный вид – *T. serpyllum* в 1,04 раза, а *T. caucasicus* – в 1,53 раза.

Количественное определение флавоноидов проводили методом дифференциальной спектрофотометрии, поскольку флавоноиды способны образовывать устойчивый комплекс при добавлении комплексообразующей добавки алюминия хлорида и наблюдали батохромный

сдвиг, что дает возможность отделить данную группу от сопутствующих веществ. При выборе аналитической длины волны, при которой необходимо проводить количественное определение, были изучены спектральные характеристики спиртовых извлечений из травы тимьянов при добавлении спиртового раствора алюминия хлорида в сравнении со стандартными веществами флавоноидов в аналогичных

условиях. В результате было установлено, что комплексы с раствором алюминия хлорида извлечений из травы тимьянов имели более близкие значения максимумов поглощения с флавоноидом лютеолин-7-гликозидом ($\lambda_{\max} = 395 \pm 2$ нм), поэтому данный флавоноид выбрали в качестве основного, на который вели пересчет. Результаты исследований представлены на рисунке 1 и в таблице 5.

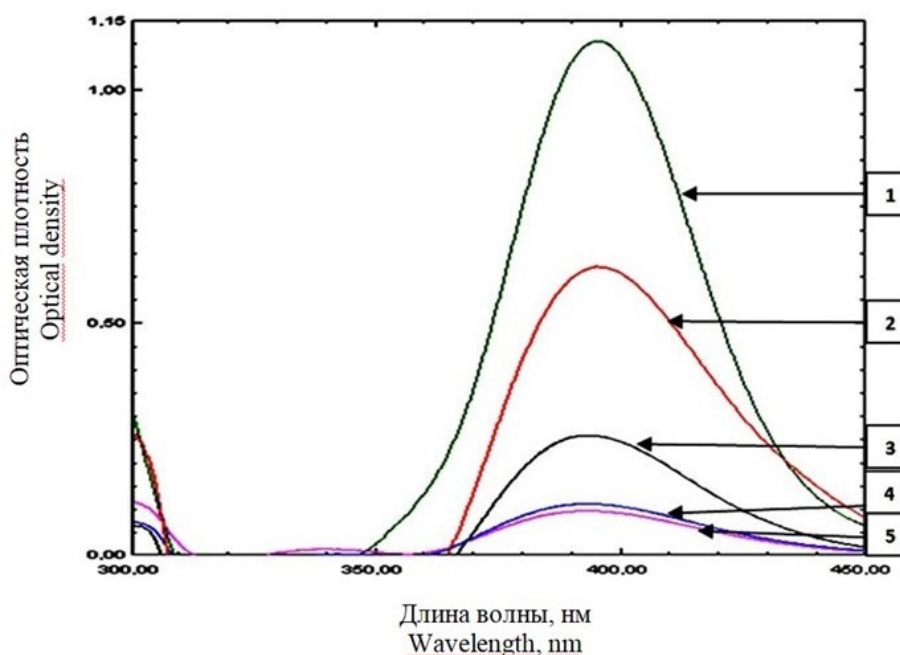


Рис. 1. Дифференциальные спектры извлечений из травы тимьянов и стандартного образца при добавлении комплексообразующей добавки при количественном определении флавоноидов: 1 – лютеолин-7-гликозид ($\lambda_{\max} = 395$ нм); 2 – *T. marschallianus*; 3 – *T. serpyllum*; 4 – *T. pseudonummularius*; 5 – *T. caucasicus*

Fig. 1. Differential spectra of extracts from thyme grass and a standard sample when a complex-forming additive is added during the quantitative determination of flavonoids: 1 – luteolin-7-glucoside ($\lambda_{\max} = 395$ nm); 2 – *Th. marschallianus*; 3 – *Th. serpyllum*; 4 – *Th. pseudonummularius*; 5 – *Th. caucasicus*

Таблица 5 – Содержание флавоноидов в сырье различных видов тимьяна, %

(в среднем за 2022–2024 гг., $\bar{x} \pm \Delta x$) /

Table 5 – Content of flavonoids in raw materials of various species of thyme, % (average for 2022–2024, $\bar{x}_{av} \pm \Delta x$)

Образец / Sample	Содержание флавоноидов в пересчете на лютеолин-7-гликозид / Content of flavonoids in terms of luteolin-7-glucoside
<i>T. serpyllum</i>	2,15±0,05
<i>T. marschallianus</i>	2,38±0,07
<i>T. pseudonummularius</i>	1,86±0,03
<i>T. caucasicus</i>	1,73±0,03

Флавоноиды представляют собой ценную группу биологически активных веществ, так как обладают разносторонними видами фармакологической активности – противовоспалительная, антиоксидантная, капилляроукрепляющая, антибактериальная. В фармакопейной статье на траву *T. serpyllum* нормируется содержание суммы флавоноидов в пересчете

на лютеолин-7-гликозид – не менее 0,9 %. Согласно полученным результатам, исследуемые образцы четырех видов тимьяна превосходили предел, указанный в нормативной документации. Количественное содержание суммы флавоноидов в траве *T. marschallianus* (2,38±0,07 %) было больше в 1,11 раза, чем у *T. serpyllum*, а по сравнению с видом, в котором отмечено наимень-

шее количество флавоноидов – *T. caucasicus* (1,73±0,03 %) в 1,38 раза.

Заключение. При изучении биохимии четырех представителей рода *Thymus*, произрастающих в условиях Республики Башкортостан, выявлено, что товароведческие показатели качества – влажность и зола общая находятся в пределах норм, регламентированных в фармакопейной статье. Анализ химического состава исследуемых таксонов тимьяна показал, что они содержат важные для пряно-ароматических растений биологически активные вещества

– эфирные масла, дубильные вещества, аскорбиновую кислоту, органические кислоты, флавоноиды. *T. marschallianus* по всем показателям проведенного химического анализа превзошел фармакопейный вид (*T. serpyllum*) и может быть рекомендован в качестве альтернативного источника сырья для расширения сырьевой базы и дальнейшего изучения этого вида из других регионов РФ по показателям типовых разделов фармакопейной статьи «Подлинность» и «Испытания».

Список литературы

1. Доронькин В. М., Васюков В. М. Род *Thymus* (Lamiaceae) во флоре Кемеровской области. Ботанические исследования Сибири и Казахстана. 2022;(28):55–59. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49326763> EDN: DOGYQQ
2. Князев М. С. Обзор видов рода *Thymus* (Lamiaceae) в восточной Европе и на Урале. Ботанический журнал. 2015;100(2):114–141. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0006813615020027> EDN: ТНТУJB
3. Анищенко И. Е., Жигунов О. Ю. Культура тимьяна (*Thymus* L.) в Республике Башкортостан. Аграрная Россия. 2014;(4):8–11. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21397442> EDN: SAGGFJ
4. Сулейманова З. Н., Сулейманова Л. А., Хасанова З. М., Хасанова Л. А. Особенности биологии, полезные и лекарственные свойства некоторых видов тимьяна (*Thymus* L.). Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2019;(2(50)):64–69. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39264215> EDN: WPWCMC
5. Варданын Л. Р., Айрапетян С. А., Вандунц Т. В. Изучение элементного состава травы тимьяна ползучего (*Thymus serpyllum* L.), произрастающего в Горисском регионе Армении. Universum: химия и биология. 2024;(4-1(118)):40–43. DOI: <https://doi.org/10.32743/UniChem.2024.118.4.17155> EDN: GDOICH
6. Маланкина Е. Л., Козловская Л. Н., Кузьменко А. Н., Евграфов А. А. Определение компонентного состава эфирного масла видов тимьяна методом газовой хроматографии. Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2019;60(6):411–416. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39387164> EDN: OXHJTG
7. Назаргулов А. С., Макаров Р. П., Пупыкина К. А., Красюк Е. В. Сравнительная оценка количественного содержания биологически активных веществ представителей рода *Thymus* L. Вестник Башкирского государственного медицинского университета. 2022;(S5):826–829. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ykwvvyz> EDN: YKWVYZ
8. Шереметьева А. С., Фомина Ю. А., Шестопалова Н. Б., Дурнова Н. А. Влияние условий экстракции на содержание флавоноидов в извлечениях из травы тимьяна Маршалла и тимьяна ползучего. Фармация. 2021;70(7):41–46. DOI: <https://doi.org/10.29296/25419218-2021-07-07> EDN: GXEEFN
9. Шереметьева А. С., Фролкова А. В., Шаповал О. Г., Дурнова Н. А., Березуцкий М. А. Содержание и антимикробная активность эфирных масел в траве тимьяна Маршалла и тимьяна ползучего. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2021;24(3):27–32. DOI: <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-03-04> EDN: VDOEYW
10. Дурнова Н. А., Романтеева А. Н., Ковтун А. Н. Химический состав эфирного масла тимьяна Маршалла и тимьяна Палласа, произрастающих на территории Саратовской области. Химия растительного сырья. 2014;(2):115–119. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22266392> EDN: STGQMX
11. Бубенчикова В. Н., Старчак Ю. А. Исследование эфирного масла тимьяна блошиного. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014;(8-2):116–118. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21653850> EDN: SFWDFV
12. Бубенчикова В. Н., Старчак Ю. А. Исследование эфирного масла тимьяна двуликого. Фармация. 2015;(6):7–9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/uiqbdb> EDN: UIBQDB
13. Рабжаева А. Н., Звонцов И. В., Раднаева Л. Д. Химический состав эфирного масла тимьяна байкальского *Thymus baikalensis* Serg., произрастающего в Забайкалье. Химия растительного сырья. 2008;(1):73–76. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9933197> EDN: IJJOIJ
14. Фуклева Л. А., Пучкан Л. А. Изучение состава и возможность использования чабреца обыкновенного и крымского в фармацевтической практике. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. 2013;(18):207–210. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21378081> EDN: RZVFUV
15. Бубенчикова В. Н., Старчак Ю. А. Изучение дубильных веществ растений рода тимьян флоры средней полосы Европейской части России. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. 2015;(16):174–179. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24910354> EDN: UZCYJJ
16. Бубенчикова В. Н., Старчак Ю. А. Изучение фенольных соединений тимьяна мелового. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. 2011;(22-2):203–205. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22777187> EDN: TELGQN

17. Бубенчикова В. Н., Старчак Ю. А. Аминокислотный, жирнокислотный, полисахаридный состав травы тимьяна Палласа. *Химия растительного сырья*. 2014;(3):191–194.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22884300> EDN: TGUFVD
18. Васюков В. М. Обзор рода *Thymus* (Lamiaceae) Российского Кавказа. *Ботанический журнал*. 2022;107(5):453–465. DOI: <https://doi.org/10.31857/S000681362205009X> EDN: MOGBSR
19. Васюков В. М. Обзор тимьянов (*Thymus*, Lamiaceae) Российской части Алтайской горной страны. *Экосистемы*. 2023;(33):21–31. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53905088> EDN: XNFAFS
20. Васюков В. М., Никельшпарг М. И. Образцы тимьянов (*Thymus*, Lamiaceae) из центральной части Российского Кавказа, хранящиеся в гербарии Института экологии Волжского бассейна РАН (PVB). *Известия Саратовского Университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология*. 2022;22(4):455–459.
DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-455-459> EDN: WCPHBN

References

1. Doronkin V. M., Vasyukov V. M. Genus *Thymus* (Lamiaceae) in the flora of the Kemerovo region. *Botanicheskie issledovaniya Sibiri i Kazakhstana*. 2022;(28):55–59. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49326763>
2. Knyazev M. S. The survey of east European and Ural species of the genus *Thymus* (Lamiaceae). *Botanichesky zhurnal*. 2015;100(2):114–141. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0006813615020027>
3. Anishchenko I. E., Zhigunov O. Yu. Culture of *Thymus* L. in the Bashkortostan Republic. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*. 2014;(4):8–11 (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21397442>
4. Suleymanova Z. N., Suleymanova L. A., Khasanova Z. M., Khasanova L. A. Features of biology, useful and medicinal properties of some types of thyme (*Thymus* L.). *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. M. Akmulli*. 2019;(2(50)):64–69. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39264215>
5. Vardanyan L. R., Ayrapetyan S. A., Vandunts T. V. The study of the elemental composition of the herb of *Thymus serpyllum* L. growing in Goris region of Armenia. *Universum: khimiya i biologiya*. 2024;(4-1(118)):40–43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32743/UniChem.2024.118.4.17155>
6. Malankina E. L., Kozlovskaya L. N., Kuzmenko A. N., Evgrafov A. A. Determination of the component composition of essential oil of thyme species by the method of gas chromatography. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2: Khimiya*. 2019;60(6):411–416. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39387164>
7. Nazargulov A. S., Makarov R. P., Pupykina K. A., Krasnyuk E. V. Comparative assessment of the quantitative content of biologically active substances of representatives of the genus *Thymus* L. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*. 2022;(S5):826–829. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ykwvvyz>
8. Sheremetyeva A. S., Fomina Yu. A., Shestopalova N. B., Durnova N. A. The impact of extraction conditions on the content of flavonoids in the extracts from *Thymus Marschallianus* and *Thymus serpyllum* herbs. *Farmatsiya = Pharmacy*. 2021;70(7):41–46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29296/25419218-2021-07-07>
9. Sheremetyeva A. S., Frolkova A. V., Shapoval O. G., Durnova N. A., Berezutsky M. A. the content and antimicrobial activity of essential oils in the herb *Thymus marshallianus* Willd. and *Thymus serpyllum* L. *Voprosi biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii = Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2021;24(3):27–32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-03-04>
10. Durnova N. A., Romanteeva A. N., Kovtun A. N. Chemical composition of essential oil of *Thymus marshallianus* and *Thymus pallasianus*, native to the Saratov region. *Khimiya rastitel'nogo sirya = Chemistry of plant raw material*. 2014;(2):115–119. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22266392>
11. Bubenchikova V. N., Starchak Yu. A. Investigation of *Thymus pulegioides* L. essential oils. *Mezhdunarodny zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy = International Journal of Applied And Fundamental Research*. 2014;(8-2):116–118. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21653850>
12. Bubenchikova V. N., Starchak Yu. A. Investigation of essential oil of thyme (*Thymus dimorphus* Klok. et shost.). *Farmatsiya = Pharmacy*. 2015;(6):7–9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/uiqbdb>
13. Rabzhaeva A. N., Zvontsov I. V., Radnaeva L. D. Chemical composition of Baikal thyme essential oil *Thimus baikalensis* Serg., native to Transbaikalia. *Khimiya rastitel'nogo sirya = Chemistry of plant raw material*. 2008;(1):73–76. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9933197>
14. Fukleva L. A., Puchkan L. A. The study of the composition and the use of *Thyme common* and *Thyme crimea* in the pharmaceutical practice. *Nauchnie vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*. 2013;(18):207–210. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21378081>
15. Bubenchikova V. N., Starchak Yu. A. The study of tanning agents of plants of thymus genus of European Russia midland flora. *Nauchnie vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*. 2015;(16):174–179. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24910354>
16. Bubenchikova V. N., Starchak Yu. A. The study of phenolic compounds of *Thymus cretaceous* Klok. et schost. *Nauchnie vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*. 2011;(22-2):203–205. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22777187>
17. Bubenchikova V. N., Starchak Yu. A. Amino acid, fatty acid, polysaccharide composition of *Thyme Pallas* herb. *Khimiya rastitel'nogo sirya = Chemistry of plant raw material*. 2014;(3):191–194. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22884300>
18. Vasyukov V. M. Review of the genus *Thymus* (Lamiaceae) of the Russian Caucasus. *Botanichesky zhurnal*. 2022;107(5):453–465. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S000681362205009X>

19. Vasyukov V. M. Review of the genus *Thymus* (Lamiaceae) of the Russian part of the Altai mountains. *Ekosistemi*. 2023;(33):21–31. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53905088>

20. Vasyukov V. M., Nikelshparg M. I. Samples of *Thymus* (Lamiaceae) from the central part of the Russian Caucasus, stored in the herbarium of the Institute of ecology of the Volga river basin of the Russian academy of science (PVB). *Izvestiya Saratovskogo Universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya* = *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*. 2022;22(4):455–459. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-455-459>

Сведения об авторах

Пупыкина Кира Александровна, доктор фарм. наук, профессор кафедры фармакогнозии с курсом ботаники и основ фитотерапии, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Ленина, д.3, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация, 450008, e-mail: rectorat@bashgmu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8817-7289>

Анищенко Ирина Евгеньевна, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории флоры и растительности, Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. Менделеева, д. 195, корп. 3, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация, 450080, e-mail: botsad@anrb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6851-310X>

Красюк Екатерина Васильевна, кандидат фарм. наук, доцент кафедры фармакогнозии с курсом ботаники и основ фитотерапии, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Ленина, д.3, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация, 450008, e-mail: rectorat@bashgmu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1658-2522>

✉ **Жигунов Олег Юрьевич**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории флоры и растительности, Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. Менделеева, д. 195, корп. 3, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация, 450080, e-mail: botsad@anrb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1159-146X>, e-mail: zhigunov2007@yandex.ru

Шигапов Зиннур Хайдарович, доктор биол. наук, директор, Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. Менделеева, д. 195, корп. 3, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация, 450080, e-mail: botsad@anrb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2613-4712>

Information about the authors

Kira A. Pupykina, DSc of Pharmacy, professor at the Department of Pharmacognosy with a Course of Botany and the Basics of Herbal Medicine, Bashkir State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 3 Lenina St., Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation, 450008, e-mail: rectorat@bashgmu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8817-7289>

Irina E. Anishchenko, PhD in Biology, leading researcher, the Laboratory of Flora and Vegetation, South-Ural Botanical Garden-Institute – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 195 Mendeleev St., Building 3, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation, 450080, e-mail: botsad@anrb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6851-310X>

Ekaterina V. Krasnyuk, PhD in Pharmacy, associate professor, the Department of Pharmacognosy with a Course of Botany and the Basics of Herbal Medicine, Bashkir State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 3 Lenin St., Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation, 450008, e-mail: rectorat@bashgmu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1658-2522>

✉ **Oleg Yu. Zhigunov**, PhD in Biology, senior researcher, the Laboratory of Flora and Vegetation, South-Ural Botanical Garden-Institute – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 195 Mendeleev St., Building 3, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation, 450080, e-mail: botsad@anrb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1159-146X>, e-mail: zhigunov2007@yandex.ru

Zinnur Kh. Shigapov, DSc in Biology, director, South-Ural Botanical Garden-Institute – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 195 Mendeleev St., Building 3, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation, 450080, e-mail: botsad@anrb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2613-4712>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Коллекционные сорта хмеля, адаптированные к условиям центральной части Волго-Вятского региона

© 2025. Д. А. Дементьев✉, И. Ю. Иванова, А. А. Фадеев

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

В Чувашиском научно-исследовательском институте сельского хозяйства располагается единственная в России коллекция мировых сортов хмеля, которая является источником генетического материала для селекционной работы. Цель исследований – выявить коллекционные сорта хмеля обыкновенного, наиболее адаптированные к условиям Чувашиской Республики (центральной части Волго-Вятского региона) по урожайности шишек хмеля и содержанию в них альфа-кислот. В статье приведены результаты исследований 2022–2024 гг., адаптивность сортообразцов оценивали по коэффициентам адаптивности (КА) и вариации (CV). Выявлено, что из 240 сортообразцов коллекции хмеля среднюю урожайность в соответствующих группах спелости превысили 70 образцов, по содержанию альфа-кислот – 33 образца. По урожайности среди раннеспелых выделились Югославский красностебельный, Форвард и Галинский (2,22–2,58 т/га; КА – 130,5–149,3 %), среднепоздних – сорт Marynka (2,92 т/га; КА = 155,4 %), позднеспелых – 18 образцов, в т. ч. Frisku, Hallertau Magnum, Atlas, Eurhop, Американский, Petham Goling и OZ-79 (2,61–2,79 т/га; КА > 130 %). По содержанию альфа-кислот в шишках хмеля (5,4–7,5 %) многие сорта характеризовались КА > 150 %. По комплексу признаков выделены 9 образцов хмеля, у которых в течение трёх лет испытаний коэффициент адаптивности превысил 100 % как по урожайности, так и количеству альфа-кислоты в шишках: среднеранние – Карлик 72 и Факир (Россия); среднеспелые – Флагман (Россия), Сполэчны (Украина), Willamette (США), Шпальтский (Германия), Early Bird (Англия); позднеспелые – Northern Brewer и Braustern (Германия). Приведённые сорта могут стать отличным генетическим материалом для селекционной работы.

Ключевые слова: *Humulus lupulus* L., коллекция хмеля, коэффициент адаптивности, коэффициент вариации, группа спелости, генофонд хмеля

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0004).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дементьев Д. А., Иванова И. Ю., Фадеев А. А. Коллекционные сорта хмеля, адаптированные к условиям центральной части Волго-Вятского региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1272–1284. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1272-1284>

Поступила: 21.03.2025

Принята к публикации: 01.12.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Collected hop varieties to the conditions of the central part of the Volga-Vyatka region

© 2025. Dmitriy A. Dementyev✉, Inga Y. Ivanova, Andrey A. Fadeev

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

Chuvash Research Institute of Agriculture has the only collection of world hop cultivars in Russia, which is a source of genetic material for breeding work. The purpose of the research is to identify the collection cultivars of common hop that are most adapted to the conditions of the Chuvash Republic (the central part of the Volga-Vyatka region) according to the yield of hop cones and the content of alpha acids in them. The article presents the results of 2022–2024 research. The adaptability of hop accessions was assessed by the coefficients of adaptivity (KA) and variation (CV). It was revealed that out of 240 accessions of hop collection, 70 samples exceeded the corresponding ripeness groups by the average yield and 33 samples – by the alpha acid content. According to the yield, 'Yugoslavskiy krasnostebelny', 'Forvard' and 'Galinskiy' stood out among the early-ripening cultivars (2.22–2.58 t/ha; KA – 130.5–149.3 %), among the medium-late – 'Marynka' cultivar (2.92 t/ha; KA = 155.4 %), among the late-ripening – 18 samples including 'Frisku', 'Hallertau Magnum', 'Atlas', 'Eurhop', 'Amerikanskiy', 'Petham Goling' and 'OZ-79' (2.61–2.79 t/ha; KA > 130 %). According to the alpha acid content in hop cones (5.4–7.5 %), many cultivars were characterized by KA > 150 %. According to the complex of traits, 9 adaptive hop samples were identified, in which, during three years of testing, the coefficient of adaptivity exceeded 100 % in terms of both the yield and the amount of alpha acid in cones: mid-early – 'Karlik 72' and 'Fakir' (Russia), mid-ripe – 'Flagman' (Russia), 'Spolechny' (Ukraine), 'Willamette' (USA), 'Shpaltsky' (Germany), 'Early Bird' (England), late-ripening 'Northern Brewer' and 'Braustern' (Germany). These cultivars can be used as an excellent genetic material for breeding work.

Keywords: *Humulus lupulus* L., hop collection, coefficient of adaptivity, coefficient of variation, ripeness group, hop gene pool

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 No. FNWE-2022-0004).

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

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

For citations: Dementyev D. A., Ivanova I. Y., Fadeev A. A. Collected hop varieties to the conditions of the central part of the Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1272–1284. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.61272-1284>

Received: 21.03.2025

Accepted for publication: 01.12.2025

Published online: 26.12.2025

С давних времён люди повсеместно начали применять хмель в своих целях. Соплодия хмеля или продукты из них являются неотъемлемым ингредиентом в пивоваренной промышленности, хмель также имеет распространение в фармакологии, медицине, косметологии, консервной промышленности благодаря тому, что его соплодия богаты органическими соединениями, такими как смолы, белки, эфирные масла, различные воски, липиды, полифенолы, аминокислоты. В первую очередь, шишки хмеля ценят за содержание смол и эфирных масел [1, 2] и за способность оказывать консервирующее действие, т. к. производные горечи хмеля влияют на активность грамположительных бактерий. Благодаря антиоксидантным свойствам экстракты хмеля применяют в качестве натуральных консервантов при приготовлении хлеба и многих других продуктов питания [3, 4, 5].

Примерно две трети нынешних площадей и три четверти текущего производства хмеля во всем мире приходится на США и Германию. Отмечается рост производства в Новой Зеландии и США, в меньшей степени в Германии и Польше, в то время как Австралия, Чехия, Словения, особенно Китай и Великобритания сократили производство. Хмелеводство имеет очень важное значение для сельского хозяйства Германии, Чехии и, в частности, Словении [6]. К сожалению, на данный момент в России собственного пивоваренного сырья критически не хватает, и пивовары в основном используют зарубежное сырьё как хмелевое, так и ячменное [7]. С чем же связана такая ситуация в России?

До недавнего времени хмелеводство в России находилось в состоянии угасания. Так, в 2021 г. в России было около 200 га хмельников, из них в Чувашской Республике – 108 га. Среднее производство хмеля по стране составляло около 1 т/га [8]. И это несмотря на то, что в конце 70-х годов в России насчи-

тывалось более 6,7 тыс. гектар этого растения, из них к 1980 г. в Чувашской Республике хмель возделывался в 40 совхозах на 2,5 тыс. га. Но антиалкогольная компания Горбачёва, кризисная ситуация в стране, переход в 90-е годы основной массы производителей пива на зарубежные производственные линии и сырьё привели почти к полнейшему разрушению отрасли хмелеводства по всей стране. В течение пары десятилетий площади хмельников в стране сократились более чем в 30 раз. Некогда отлаженное прибыльное производство практически перестало существовать [9]. На данный момент производство собственного хмеля перекрывает 5-6 % от потребности рынка [10]. Тем не менее, благодаря текущему тренду на импортозамещение, государственной и региональной поддержке хмелеводство страны начало возрождаться.

В течение всего времени, пока в стране происходило практически уничтожение хмелеводческой отрасли, в Цивильском районе Чувашии продолжала произрастать коллекция мировых сортов хмеля, заложенная в 80-х годах XX века на базе Российской республиканской научно-исследовательской хмелеводческой станции. В основе коллекции сортообразцы из Украинского института хмелеводства (г. Житомир) и Российской научно-исследовательской хмелеводческой станции (Московская область, п. Калистово). После серии реорганизаций научных учреждений уникальная коллекция перешла в ведение Чувашского НИИСХ, что позволило не только ее сохранить в критическое для хмелеводства время, но и пополнять на протяжении многих лет сортами российской и зарубежной селекции [11]. Ценность коллекции определяется возможностью использовать растения в качестве генофонда для получения новых сортов хмеля при клоновой селекции или гибридизации – как свободной, так и принудительной [12]. Сортообразцы изучали по принадлежности к группе спелости

в условиях средней полосы России, по биохимическому типу, возможности зимовки и адаптации к неблагоприятным условиям вегетации, устойчивости к болезням и вредителям, продуктивности и качественному составу шишек, фенологическим и морфологическим признакам [13, 14]. Такие исследования проводили исходя из того, что признаки гибридного и клонового поколения сильно зависят от исходных признаков родительских растений. Появление желаемых признаков с большей долей вероятности возможно от родителей, которые обладали подобными качествами [15].

Благодаря наличию такой генетической базы селекционеры института методом принудительного искусственного опыления создали серию из 6 ранних и среднеранних сортов ароматического и горько-ароматического хмеля, которые ввели в Государственный реестр 2007–2011 гг. и включили в коллекцию [16].

Уход за коллекцией ведется по той же технологии, что и за промышленными посадками хмеля, обеспечивая растения всем необходимым для роста и развития [17]. Однако климатические условия региона возделывания подходят не всем коллекционным сортам. Поздние зарубежные сорта не успевают вызревать в условиях ограниченного вегетационного периода центральной части Чувашской Республики, поэтому отдельные экземпляры не в состо-

янии полноценно подготовиться к зимовке и благоприятно её пережить. Таким образом, на данный момент в коллекции сохранилось 240 сортообразцов, среди которых имеются стародавние. Данная коллекция является единственным в России обширным генофондом хмеля и позволяет проводить селекционную работу методами гибридизации и клонового отбора для выведения сортов, востребованных рынком [18].

Цель исследований – выявить коллекционные сорта хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.), наиболее адаптированные к условиям центральной части Волго-Вятского региона по урожайности и содержанию альфа-кислот в сухих шишках хмеля.

Научная новизна – получены экспериментальные данные по российским и зарубежным сортообразцам хмеля, произрастающим в агроклиматических условиях Чувашии, выявлены сортообразцы с комплексом хозяйственно ценных признаков.

Материал и методы. В исследовательской работе изучали 240 коллекционных сортов хмеля из России и 17 зарубежных стран (рис.). Сортообразцы большинства стран представлены несколькими группами спелости, практически все из них имеют универсальное назначение и в странах-производителях используются, по большей части, в пивоваренной промышленности.

■ Россия / Russia

■ Чехия / Czechia

■ Великобритания / Great Britain

■ Украина / Ukraine

■ Германия / Germany

■ Польша / Poland

■ Югославия, Литва, Франция, Бельгия, США / Yugoslavia, Lithuania, France, Belgium, the USA

■ Швеция, Голландия, Болгария, Швейцария, Япония, Дания, Новая Зеландия / Sweden, Netherlands, Bulgaria, Switzerland, Japan, Denmark, New Zealand

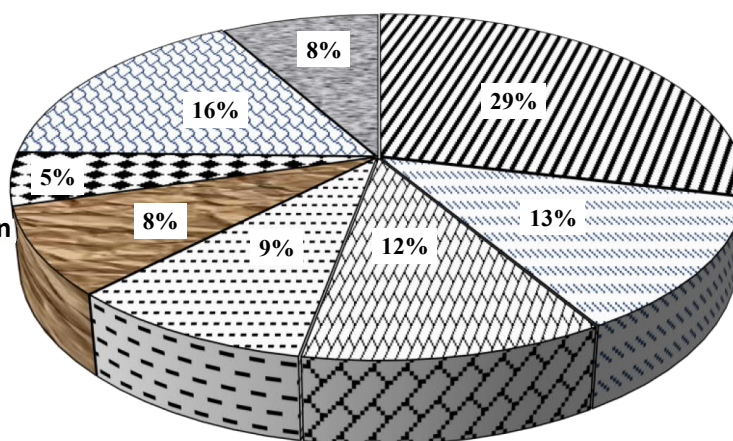


Рис. Доля сортов хмеля в коллекции по принадлежности к различным странам /
Fig. The share of hop cultivars in the collection by belonging to different countries

Коллекция произрастает в Чувашском НИИСХ (филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого») на тёмно-серой лесной тяжелосуглинистой почве (содержание гумуса – 4,16 %, подвижных форм фосфора – 410 мг/кг, калия – 202 мг/кг; $pH_{\text{сол.}}$ – 5,25). Возраст коллекции – 8 лет. Сорта размещали в рядах с учетом продолжительности вегетационного периода: позднеспелых – 3 ряда, среднепоздних – 1 ряд, среднеспелых – 4,5 ряда, среднеранних – 1,5 ряда, раннеспелых – 1 ряд. Каждого сорта выращивается по 5 растений. В каждой группе спелости в качестве контроля посажены по 2 сорта отечественной селекции, внесённые в Госреестр. Для всех групп спелости стандартом 1 выбран сорт Подвязный горькоароматического типа – среднеранний, пластичный, урожайный хорошего качества. Данный сорт высажен в каждой группе спелости, поэтому в таблицах приведены показатели его урожайности и качества во всех группах, при условии превышения 100 % коэффициента адаптивности. В качестве стандарта 2 для каждой группы служил наилучший сорт: для раннеспелой – Феодал, среднеранней – Фараон, среднеспелой – Флагман, среднепоздней и позднеспелой – Крылатский.

Как на промышленных плантациях, так и в коллекции выращиваются только женские растения хмеля. Опыление мужскими растениями существенно портит качество шишек и снижает урожай, поэтому их выкорчёвывают [19]. В связи с тем, что из семян хмеля вырастет гибрид, отличающийся по своим характеристикам от оригинального сорта, сорта хмеля можно сохранить только в вегетирующей форме, поэтому растения в коллекции требуют постоянного ухода. Одним из обязательных приёмов ухода является обрезка главных корневищ. Данная операция на коллекции проводится вручную, если при этом обнаруживаются выпадения, то недостающие растения сорта досаживаются свежесрезанными ризомами того же сорта.

Наблюдения за ростом и развитием растений проводили согласно методике¹.

Поражаемость болезнями и вредителями оценивали по пятибалльной шкале². Учёт урожайности проводили ручной щипкой. Продуктивность куста учитывали по сырой массе соплодий, урожайность – по сухой в пересчёте на гектар. Высушенные соплодия отбирали на анализ содержания альфа-кислот кондуктометрическим методом³. По каждому году рассчитывали статистический показатель – коэффициент адаптивности (КА) по Л. А. Животкову с соавт.⁴. Для расчета КА находили средний уровень изучаемого показателя по отдельной группе сортов, имеющихся в коллекции, который принимался за 100 %. Далее рассчитывали отношение изучаемого параметра для каждого сорта к среднесортному показателю группы и выражали в процентах. Полученный показатель отражает адаптивные свойства исследуемых сортов в конкретных условиях выращивания. Если КА превышает 100 %, это свидетельствует о высокоурожайном сорте, устойчивом или толерантном к биотическим и абиотическим стрессовым факторам региона.

Также определяли коэффициент вариации (CV) – статистический показатель, который используется для оценки относительной изменчивости данных. Он позволяет сравнить степень разброса значений в разных наборах данных и находится как соотношение стандартного отклонения и средней величины, измеряется в процентах. Если CV выше 10 %, то степень рассеивания данных считается незначительной, от 10 до 20 % – средней, от 20 до 33 % – значительной. Если значение CV не превышает 33 %, то совокупность считается однородной, если больше 33 % – неоднородной⁵.

Агроклиматические условия в годы проведения исследований. Чувашия относится к зоне рискованного земледелия. Благоприятные условия вегетационного периода бывают нечасто, особенно в последние годы. Так, в 2022 г. несмотря на то что гидротермический коэффициент (ГТК)⁶ за май – сентябрь составил 1,3, и первые этапы развития хмеля сопровождалась благоприятными условиями, август

¹Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып.3. Масличные, эфиромасличные, лекарственные и технические культуры, шелковица, тутовый шелкопряд. М.: Колос, 1983. С. 79–83.

²Либакский Е. П. Хмелеводство. М.: Колос, 1984. С. 46–56.

³ГОСТ 21948-76. Хмель-сырец и хмель прессованный. Методы испытаний. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 17 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294831/4294831809.pdf>

⁴Животков Л. А., Морозова З. А., Секагуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов озимой пшеницы по показателю урожайность. Селекция и семеноводство. 1994;(2):3–7.

⁵Статистика: учебник и практикум для вузов. Под ред. И. И. Елисеевой. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2024. 380 с.

⁶Селянинов Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата. М.: Гидрометеоздат, 1977. 220 с.

оказался критическим. За весь месяц выпало 3 мм осадков, а среднемесячное превышение температур составило 4,2 °С, при этом последняя декада превысила многолетние показатели на 7,2 °С. Август – это месяц налива соплодий (шишек) хмеля у ранних и среднеранних сортов и период «цветение – образование шишек» – у среднеспелых и поздних. Такая критическая температура на фоне отсутствия осадков существенно замедлила развитие растений и накопление урожая. В сентябре стресс усилился резким падением температуры – на 3,3 °С ниже многолетних. Таким образом, созревание сортов среднеспелых и более поздних проходило при недостатке температур, что привело к невызреванию большинства поздних сортов.

В 2023 г. зима была тёплой и малоснежная, перезимовка сортообразцов произошла достаточно успешно. Июнь был холодный и засушливый, а июль и август – тёплыми с недостатком влаги (ГТК = 0,6 – засушливые условия). Ранние и среднеранние сорта успели созреть. Сентябрь отличился существенными превышениями осадков при оптимальной температуре. ГТК за период «май – сентябрь» составил 1,3 за счёт ливневых дождей последнего месяца.

В 2024 г. зима была холодная и снежная. Затяжные жаркие погодные условия затормозили развитие хмеля в летний период, из-за чего ранние сорта достигли технической спелости раньше, чем набрали урожай, но позволили отдельным поздним сортам достичь технической спелости. ГТК за май – конец I декады августа составил 0,6 и только благодаря 125 мм осадков, выпавшим за 6 дней второй декады августа, ГТК стал равен 1,26. Сентябрь был аномально тёплым и сухим. Температура превысила многолетний показатель на 9,9 °С. Такие условия способствовали вызреванию поздних сортов, но в целом засушливый вегетационный период значительно сократил урожайность хмельников.

Результаты и их обсуждение. В 2022–2024 гг. в питомнике изучали 240 сортов хмеля российской и зарубежной селекции, а также экспедиционные и стародавние сортообразцы. Продолжительность вегетационного периода составила: ранние сорта – до 100 дней; среднеранние – 101–110 дней; среднеспелые – 111–120 дней; среднепоздние – 121–130 дней; поздние – более 130 дней. Вероятность вызревания последней группы в условиях северной

части Чувашской Республики крайне низкая. Исключением являлся 2024 г., когда большая часть поздних сортов успела сформировать соплодия, а отдельные даже достигли технической спелости.

В качестве основных признаков хозяйственной ценности сортообразцов приняты – урожайность и общее содержание альфа-кислот в соплодиях (шишках) хмеля. Из 240 изученных сортообразцов в таблицах 1 и 2 по каждой группе спелости приведены только те сорта, коэффициент адаптивности которых превысил 100 % за все 3 года исследований.

По признаку высокой урожайности (табл. 1) было выделено 6 образцов и среднеранний сорт-стандарт Подвязный. Из них наибольшая величина КА отмечена у сортов Югославский красностебельный (149,3 %), Форвард (132,9 %) и Галинский (130,5 %). У сортообразца Югославский красностебельный CV составил 37,3 %, что говорит о неоднородности и сильном разбросе значений урожайности по годам. Стабильность урожайности данного сорта сильно зависит от агроклиматических условий года. Наибольшая устойчивость к абиотическим и биотическим факторам у сорта Форвард (CV = 2,9 %).

В группе среднеранних выделено 8 сортов, среди которых второй контрольный сорт Фараон (КА = 122,4 %). Наибольшая адаптивность отмечена у сортов Фаворит (131,3 %) и Nordgaard 1478 (127,0 %). По коэффициентам вариации совокупность значений урожайности сортов данной группы характеризуется как однородная.

В группу среднеспелых за исследуемые года вошли 33 сорта с высокой адаптивностью и стандарт 1 Подвязный, отличившийся самым высоким коэффициентом адаптивности (129,8 %). Чуть ниже КА у сортообразца Каунасский ранний (128,5 %) и стандарта 2 – Флагман (127,7 %). Оба контрольных сорта имели высокую урожайность в течение 3 лет в сравнении с прочими сортами данной группы. Хорошими показателями адаптивности характеризовались сорта Cascade, Серебрянка, Густяк и Шпальтский – 122,0–123,9 %. Все сорта данной группы показали однородную вариативность – от незначительной до средней, то есть в приведённых условиях произрастания урожайность по годам менялась незначительно.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING

Таблица 1 – Показатели адаптивности и стабильности сортообразцов хмеля по признаку «урожайность» / Table 1 – Indicators of adaptability and stability of hop samples according to the «yield» trait

Сорт / Cultivar*	Урожайность сухих шишек хмеля, ц/га / Yield of dry hops cones, c/ha			Коэффициент адаптивности, % / Coefficient of adaptability, %				Коэффициент вариации, % / Coefficient of variation, %
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	в среднем за 3 года / average for 3 years	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Раннеспелые / Early-maturing								
Подвязный, ст. 1 / 'Podvyazny', st.1	18,8	22,5	19,0	117,3	119,1	117,5	117,9	10,4
Галинский / 'Galinskiy'	18,8	24,8	23,1	117,3	131,3	142,8	130,5	13,9
Изящный / 'Izyashchny'	18,8	20,3	23,9	117,3	107,5	147,8	124,2	12,5
Югославский красностебельный / 'Yugoslavskiy krasnostebel'ny'	17,3	36,3	23,9	107,9	192,2	147,8	149,3	37,3
'Golden Star'	18,0	24,0	18,2	112,3	127,1	112,5	117,3	17,0
Форвард / 'Forvard'	22,5	21,8	23,1	140,3	115,4	142,8	132,9	2,9
Э-88/15	18,0	21,0	18,2	112,3	111,2	112,5	112,0	8,8
Среднесортная урожайность / Average yield over the cultivars**	16,0	18,9	16,2	100	100	100	-	-
Среднеранние / Medium-early								
Фараон, ст. 2 / 'Faraon', st. 2	22,5	18,8	23,9	131,3	110,2	125,8	122,4	12,1
Фаворит / 'Favorit'	24,0	20,3	25,6	140,1	119,0	134,8	131,3	11,7
Карлик 72 / 'Karlik' 72	18,8	18,8	19,8	109,7	110,2	104,2	108,1	3,0
Э-88/07	18,8	18,8	19,8	109,7	110,2	104,2	108,1	3,0
Цивильский / 'Civil'skiy'	21,0	18,0	22,3	122,6	105,5	117,4	115,2	10,8
Чувашский местный / 'Chuvashskiy mestny'	21,8	18,8	22,3	127,3	110,2	117,4	118,3	9,0
Факир / Fakir	22,5	18,8	23,1	131,3	110,2	121,6	121,0	10,8
'Nordgaard 1478'	24,8	17,3	25,6	144,8	101,4	134,8	127,0	20,3
Среднесортная урожайность / Average yield over the cultivars	17,1	17,1	19,0	100	100	100	-	-
Среднеспелые / Medium-ripened								
Подвязный, ст. 1 / 'Podvyazny', st.1	30,0	26,3	31,4	131,0	127,2	131,2	129,8	9,0
Флагман, ст. 2 / 'Flagman', st. 2	28,5	27,8	29,7	124,5	134,4	124,1	127,7	3,4
Серебрянка / 'Serebryanka'	27,0	26,3	29,7	117,9	127,2	124,1	123,1	6,5
'Cascade'	28,5	25,5	29,7	124,5	123,3	124,1	123,9	7,8
'Saladin'	28,5	24,8	28,1	124,5	119,9	117,4	120,6	7,5
Алтай / 'Altay'	27,0	24,8	25,6	117,9	119,9	106,9	114,9	4,3
Даубарский / 'Daubarskiy'	27,0	22,5	27,2	117,9	108,8	113,6	113,4	10,4
Клон 15-24 / 'Klon 15-24'	25,5	24,0	28,1	111,4	116,1	117,4	114,9	8,0
Югославский зеленостебельный / 'Yugoslavskiy zelenostebel'ny'	24,8	24,0	25,6	108,3	116,1	106,9	110,4	3,2
Каунасский ранний / 'Kaunasskiy ranniy'	30,0	25,5	31,4	131,0	123,3	131,2	128,5	10,6
'Saaz'	24,0	24,0	24,8	104,8	116,1	103,6	108,2	1,9
Сполэчны / 'Spolechny'	27,8	24,0	28,9	121,4	116,1	120,7	119,4	9,6
Д. Польско / 'D. Pol'sko'	27,0	25,5	28,1	117,9	123,3	117,4	119,5	4,9
'Kono'	24,0	23,3	24,8	104,8	112,7	103,6	107,0	3,1
'Wye Eastwell Golding'	26,3	25,5	27,2	114,8	123,3	113,6	117,3	3,2
'Semsuv'	24,8	24,8	25,6	108,3	119,9	106,9	111,7	1,8
Густяк / 'Gustyak'	27,0	27,0	28,1	117,9	130,6	117,4	122,0	2,3
Украинский 38 / 'Ukrainskiy 38'	24,8	24,0	25,6	108,3	116,1	106,9	110,4	3,2
Ротер Аушер / 'Roter Ausher'	26,3	23,3	27,2	114,8	112,7	113,6	113,7	8,0
Осв. 'Klone 31'	25,5	23,3	26,4	111,4	112,7	110,3	111,4	6,4

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Среднеспелые / Medium-ripened								
Заграничный А / 'Zagranichny A'	26,3	21,0	27,2	114,8	101,5	113,6	110,0	13,5
Заграничный Б / 'Zagranichny B'	26,3	24,8	27,2	114,8	119,9	113,6	116,1	4,6
Вологда / 'Vologda'	25,5	22,5	26,4	111,4	108,8	110,3	110,1	8,2
Osv. 'Klone 72'	26,3	26,3	27,2	114,8	127,2	113,6	118,6	2,0
'Grows'	25,5	24,8	26,4	111,4	119,9	110,3	113,9	3,1
St. sp. of 'Promansi'	25,5	24,0	26,4	111,4	116,1	110,3	112,6	4,8
'Willamette'	24,0	22,5	24,8	104,8	108,8	103,6	105,7	4,9
Сумерь / 'Sumer'	27,0	21,0	28,1	117,9	101,5	117,4	112,3	15,1
Урожайный / 'Urozhajny'	25,5	21,8	26,4	111,4	105,4	110,3	109,0	9,9
Шпальтский / 'Shpal'tskiy'	28,5	24,8	29,7	124,5	119,9	124,1	122,8	9,2
'Early Bird'	27,0	22,5	28,1	117,9	108,8	117,4	114,7	11,5
Osv. 'Klone 114'	25,5	21,8	26,4	111,4	105,4	110,3	109,0	9,9
'Lubelski'	25,5	21,0	26,4	111,4	101,5	110,3	107,7	11,9
Житомирский 8 / 'Zhitomirskiy 8'	26,3	22,5	27,2	114,8	108,8	113,6	112,4	9,8
Среднесортная урожайность / Average yield over the cultivars	22,9	20,7	23,9	100	100	100	-	-
Среднепоздние / Mid-late								
Подвязный, ст. 1 / 'Podvyazny', st.1	27,0	22,5	28,1	171,9	119,3	121,6	137,6	11,5
'Marynka'	30,0	26,3	31,4	191,0	139,4	135,8	155,4	9,0
'Klon PCU-280'	27,8	25,5	28,9	177,0	135,2	125,0	145,7	6,3
'Klon P/K1'	24,8	26,3	25,6	157,9	139,4	110,7	136,0	2,9
Тетнанг ранний / 'Tetnang ranniy'	22,5	23,3	23,1	143,3	123,5	99,9	122,2	1,8
'Brewers Gold'	25,5	25,5	26,4	162,4	135,2	114,2	137,3	2,0
Среднесортная урожайность / Average yield over the cultivars	15,7	18,9	23,1	100	100	100		
Позднеспелые / Late-ripening								
Подвязный, ст. 1 / 'Podvyazny', st.1	27,0	22,5	28,1	138,6	110,2	140,8	129,9	11,5
OR-55	26,3	23,3	27,2	135,0	114,1	136,3	128,5	8,0
'Frisku'	25,5	26,3	26,4	130,9	128,8	132,3	130,7	1,9
Sz P56	25,5	25,5	26,4	130,9	124,9	132,3	129,4	2,0
Кумир / 'Kumir'	25,5	22,5	26,4	130,9	110,2	132,3	124,5	8,2
'Northern Brewer' (Германия)	20,3	24,8	20,6	104,2	121,4	103,2	109,6	11,5
'Northern Brewer' (Англия)	20,3	22,5	20,6	104,2	110,2	103,2	105,9	5,6
'Braustern'	25,5	23,3	26,4	130,9	114,1	132,3	125,8	6,4
Аванс / 'Avans'	24,8	25,5	25,6	127,3	124,9	128,3	126,8	1,7
'Au Holedava'	22,5	21,0	23,1	115,5	102,8	115,7	111,4	4,9
Преко де Дьелокард / 'Prekos de D'elokard'	24,8	24,0	25,6	127,3	117,5	128,3	124,4	3,2
'Hallertau'	21,0	22,5	21,5	107,8	110,2	107,7	108,6	3,5
'Hallertau Magnum'	26,3	26,3	27,2	135,0	128,8	136,3	133,4	2,0
'Atlas'	27,0	27,0	28,1	138,6	132,2	140,8	137,2	2,3
'Eurhop'	27,0	26,3	28,1	138,6	128,8	140,8	136,1	3,3
Американский / 'Amerikanskiy'	27,8	27,0	28,9	142,7	132,2	144,8	139,9	3,4
'Petham Goling'	26,3	24,8	27,2	135,0	121,4	136,3	130,9	4,6
Краснобелый Истринский / 'Krasnostebel'ny Istrinskiy'	21,0	24,0	21,5	107,8	117,5	107,7	111,0	7,3
OZ-79	26,3	26,3	27,2	135,0	128,8	136,3	133,4	2,0
Среднесортная урожайность / Average yield over the cultivars	19,5	20,4	20,0	100	100	100	-	-

*Сорта с коэффициентом адаптивности > 100 %; **Среднесортная урожайность по всем коллекционным образцам определенной группы спелости /

*Cultivars with an adaptability coefficient > 100 %; **Average yield across all collection samples of a specific maturity group

Среди среднепоздних сортов высокой урожайностью выделились сортообразцы Marynka, Klon PCU-280, Klon P/K1, Тетнанг ранний и Brewers Gold и стандарт 1 Подвязный. Все сорта имели один из самых высоких КА в сравнении с предыдущими группами спелости – от 122,2 % (Тетнанг ранний) до 155,4 % (Marynka). Коэффициент вариации также был незначительным – от 1,8 до 9,0 %.

В позднеспелой группе высокой адаптивностью обладали 18 образцов, 7 из них отличались КА > 130: Frisku, Hallertau Magnum, Atlas, Eurhop, Американский, Petham Goling и OZ-79. Все сорта представленной

группы, кроме Northern Brewer (Германия) (11,5 %), также имели незначительный CV – до 10 %. То есть выделенные сорта отлично чувствовали себя в условиях последних 3 лет испытаний и обеспечивали высокую урожайность в сравнении со средней урожайностью группы. Сорт Подвязный и в этой группе показал отличный результат (КА = 129,9 %), что говорит о его безусловно высоком потенциале.

В таблице 2 приведены показатели адаптивности и стабильности сортообразцов, выделившихся по признаку «общее содержание альфа-кислот» в соплодиях (шишках) хмеля.

Таблица 2 – Показатели адаптивности и стабильности сортообразцов хмеля по признаку «содержание альфа-кислот», % /

Table 2 – Indicators of adaptability and stability of hop samples by the «alpha acid content» trait, %

Сорт / Cultivar*	Содержание альфа-кислот в шишках хмеля / The content of alpha acids in hop cones			Коэффициент адаптивности / Coefficient of adaptability				Коэффициент вариации / Coefficient of variation
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	в среднем за 3 года / average for 3 years	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Раннеспелые / Early-maturing								
Подвязный, ст. 1 / 'Podvyazny', st.1	6,2	6,1	5,9	159,0	174,7	196,8	177,4	7,3
Феодал, ст. 2 / 'Feodal', st. 2	5,0	5,0	3,8	128,2	143,2	131,4	134,3	15,1
'Svalef'	7,7	3,7	4,7	197,4	106,0	162,6	155,3	38,8
Тувсинский / 'Tuvsinskiy'	4,8	3,5	3,2	123,1	100,2	110,7	111,3	22,2
Среднесортной показатель / The average indicator**	3,9	3,5	2,9	100	100	100	-	-
Среднеранние / Medium-early								
Подвязный, ст. 1 / 'Podvyazny', st.1	9,1	6,2	7,3	237,8	228,9	188,1	218,3	19,4
Карлик 72 / 'Karlik 72'	4,8	6,7	4,6	125,4	247,4	118,6	163,8	21,6
Карлик 78 / 'Karlik 78'	6,5	4,7	4,0	169,8	173,5	103,1	148,8	25,5
Клон 15-25 / 'Klon 15-25'	4,1	3,4	4,6	107,1	125,5	118,6	117,1	14,9
Факир / 'Fakir St2'	5,8	3,0	4,3	151,5	110,8	110,8	124,4	32,1
Истринский 15 / 'Istrinskiy 15'	5,9	4,9	8,1	154,2	180,9	208,8	181,3	26,0
Среднесортной показатель / The average indicator	3,8	2,7	3,9	100	100	100	-	-
Среднепоздние / Medium-ripened								
Подвязный, ст. 1 / 'Podvyazny', st.1	6,4	6,3	7,0	164,1	125,7	151,5	147,1	13,5
Флагман, ст. 2 / 'Flagman', st. 2	9,6	2,8	8,8	246,1	117,3	190,4	184,6	52,6
Образец № 2 из Чехии / Sample No. 2 from the Czech Republic	8,3	4,6	8,2	212,8	192,7	177,5	194,3	30,0
Роуденцаль / 'Roudencal'	6,0	4,1	4,9	153,8	171,7	103,9	143,1	19,1
'Saxon'	7,3	8,1	7	187,1	339,3	151,5	226,0	7,6
Сполэчны / 'Spolechny'	6,3	4,6	5,8	161,5	192,7	125,5	159,9	15,7
'Nordgaard 1978'	5,7	3,6	5,9	146,1	150,8	127,7	141,5	25,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
'Keignorts midseason'	4,3	3,1	6,2	110,2	129,9	134,2	124,8	34,5
Брянский / 'Bryanskiy'	4,4	2,6	4,9	112,8	108,9	106,0	109,2	30,5
Ротер Кушер / 'Roter Kusher'	5,2	2,8	5,6	133,3	117,3	121,2	123,9	33,4
Клон 18 / 'Klon 18'	4,4	3,3	5,7	112,8	138,2	123,3	124,8	26,9
Аушерский / 'Ausherskiy'	4,9	3,2	5,2	125,6	134,0	112,5	124,1	24,3
'Willamette'	5,5	4,9	5,9	141,0	205,3	127,7	158,0	9,3
R-1/9	4,4	2,4	5,9	112,8	100,5	127,7	113,7	41,5
Шпальтский / 'Shpal'tskiy'	4,4	2,5	5,6	112,8	104,7	119,0	112,2	37,5
'Early Bird'	6,2	2,8	8,5	158,9	117,3	285,7	187,3	49,2
'Sirem'	5,0	4,1	6,1	128,2	171,7	121,2	140,4	19,8
Савинский гольдинг / 'Savinskiy gol'ding'	4,4	4,1	5,6	112,8	171,7	147,2	143,9	16,9
Клон 11-15 / 'Klon 11-15'	4,7	2,7	4,6	120,5	113,1	100,0	111,2	28,2
Среднесортной показатель / The average indicator	3,9	2,4	4,6	100	100	100	-	-
Среднепоздние / Mid-late								
Подвязный, ст. 1 / 'Podvyazny', st.1	8,6	7,4	8,6	176,4	233,7	157,3	189,1	8,4
Лупулиновый / 'Lupulinovy'	5,4	4,0	6,9	110,8	126,3	126,2	121,1	26,7
'Tetnanger'	9,1	3,8	9,4	186,7	120,0	172,0	159,5	42,4
Среднесортной показатель / The average indicator	4,9	3,2	5,5	100	100	100	-	-
Позднеспелые / Late-ripening								
Подвязный, ст. 1 / 'Podvyazny', st.1	8,6	7,4	8,6	150,4	229,2	137,9	172,5	8,4
'Northern Brewer' (Германия)	5,5	4,9	8,9	96,2	151,8	142,7	130,2	33,5
'Braustern'	9,5	4,2	10,2	166,2	130,1	163,5	153,3	41,2
Среднесортной показатель / The average indicator	5,7	3,2	6,2	100	100	100	-	-

*Сорта с коэффициентом адаптивности > 100 %. **Среднесортная урожайность по всем коллекционным образцам определенной группы спелости /

*Cultivars with an adaptability coefficient > 100 %. **Average yield for all cultivars of a given maturity group

Необходимо учитывать, что ранние сорта априори содержат в шишках меньше альфа-кислот, чем более поздние, при условии достижения последними технической спелости. Поэтому группа раннеспелых заведомо будет иметь меньший показатель, чем сорта, созревающие позже при оптимальных условиях развития. При этом могут сложиться такие обстоятельства, при которых сортообразцы ранних групп спелости будут развиваться в более благоприятных агроклиматических условиях, чем поздние. Это может привести к обратному результату.

Анализ данных таблицы 2 показал, что по содержанию альфа-кислот в соплодиях хмеля выделено значительно меньше сортообразцов, имеющих КА выше 100 %, чем по признаку «урожайность». Так, в группе раннеспелых повышенное содержание альфа-кислот

имели только 3 сорта, включая Феодал (ст. 2). Стандартный сорт Подвязный относится к среднеранним, поэтому заведомо с большей долей вероятности будет иметь более высокое содержание альфа-кислот. Сорта Феодал и Svalef отличились высоким среднегодовым коэффициентом адаптивности, но у последнего коэффициент вариации показал высокую изменчивость качества соплодий хмеля по годам.

В среднеранней группе выявлено 6 образцов с высокими значениями КА, из них лишь Клон 15-25 имел КА < 120 %. Самая высокая адаптивность у сорта Подвязный – 218,3 %, несколько ниже у сорта Истринский 15 – 181,3 %. Вариативность всех сортов этой группы была ниже 33 % (от 14,9 до 32,1 %) – от средней до значительной, но всё же считается однородной.

Самая многочисленная группа – это среднеспелые сорта – 18 образцов. Из них 4 достигают показателей КА > 180 %: стандартный сорт Флагман – 184,6 %; Early Bird – 187,3 %; Образец № 2 из Чехии – 194,3 %; Saxon – 226 %, при этом первые два сорта отличились высокой рассеянностью данных (CV – 52,6 и 49,2 %). Самая низкая адаптивность отмечена у образцов Брянский – 109,2 %, Клон 11-15 – 111,2 %, Шпальтский – 112,2 % и R-1/9 – 113,7 %, у прочих выше 120 %.

Среди среднепоздних и поздних выделено только по 2 сорта и сорт-стандарт Подвязный, который в обеих группах имел самый высокий

среднегодовой КА и самый низкий CV. Это говорит о том, что сортообразцы данной группы, в отличие от стандартного сорта, плохо приспособлены к условиям региона и не успевают достичь полной технической спелости, при которой альфа-кислоты накапливаются в максимальном количестве. Этим сортам требуется ещё 3-4 недели тёплого вегетационного периода для реализации своего потенциала.

В таблице 3 приведены сводные показатели по коллекционным сортам хмеля, которые в течение трёх лет исследований отмечены КА выше 100 % как по урожайности, так и содержанию альфа-кислот в соплодиях.

Таблица 3 – Адаптивные сортообразцы хмеля по признакам «урожайность» и «содержание альфа-кислот» (в среднем за 2022–2024 гг.) /

Table 3 – Adaptive hop samples by the «yield» and «alpha acid content» traits (average for 2022–2024)

<i>Copm / Cultivar*</i>	<i>Урожайность сухих шишек хмеля, ц/га / Yield of dry hop cones, c/ha</i>	<i>Коэффициент адаптивности по урожайности, % / Coefficient of adaptability by the yield, %</i>	<i>Содержание альфа-кислот в шишках хмеля, % / The content of alpha acids in hop cones, %</i>	<i>Коэффициент адаптивности по содержанию альфа-кислот, % / Coefficient of adaptability by the alpha acid content, %</i>
Среднеранние / Medium-early				
Карлик 72 / 'Karlik 72'	19,1	108,1	5,4	163,8
Факир, ст. 2 / 'Fakir', st. 2	22,5	121,1	4,4	124,4
Среднеспелые / Medium-ripened				
Флагман, ст. 2 / 'Flagman', st. 2	28,7	127,7	7,1	184,6
Сполэчны / 'Spolechny'	26,9	119,4	5,6	159,9
'Willamette'	23,8	105,7	5,4	158,0
Шпальтский / 'Shpal'tskiy'	27,7	122,8	4,2	112,2
'Early Bird'	25,9	114,7	5,8	187,3
Позднеспелые / Late-ripening				
'Northern Brewer' (Германия)	21,9	109,6	6,4	130,2
'Braustern'	25,1	125,8	8	153,3

* Сорта с коэффициентом адаптивности >100 % по двум признакам /

* Cultivars with an adaptability coefficient >100 % by two traits

Среди раннеспелых и среднепоздних не выявлено сортов, которые соответствовали по критерию адаптивности сразу двум исследуемым параметрам. Среди среднеранних выделили только 2 сорта – Карлик 72 и стандартный Факир, из среднеспелых – 5 образцов – Флагман (ст. 2), Сполэчны, Willamette, Шпальтский и Early Bird, в группе позднеспелых – 2 сорта – Northern Brewer (Германия) и Braustern. При этом коэффициент адаптивности по урожайности у приведённых сортов всех групп не превышал 127,7 %, самая низкая адаптивность по качественному показателю

у сортов Шпальтский и Факир – 112,2 и 124,4 % соответственно. У остальных сортов этот показатель составил от 130,2 до 187,3 %, то есть у выделенных сортов урожайность лишь ненамного превышала среднюю урожайность по своей группе спелости, но зато они отличились высоким содержанием альфа-кислот в шишках.

Заключение. По результатам трехлетнего испытания (2022–2024 гг.) 240 коллекционных сортообразцов хмеля в условиях Чувашской Республики выделено 70 образцов, которые превысили среднесортную урожайность по

соответствующей группе спелости. Самые многочисленные группы – среднеспелые (33 образца) и позднеспелые (18 образцов). Среди среднепоздних и позднеспелых отмечены образцы с высоким отклонением от средней урожайности по группе (КА > 130 %). Особенно стоит выделить высокоурожайный польский сорт Marynka – 2,92 т/га; КА = 155,4 %.

По содержанию альфа-кислот в соплодиях хмеля выделено только 33 сорта, у которых её количество превышало среднесортовой показатель по группе спелости. В среднеспелой группе этому критерию отвечало 19 сортообразцов, в прочих – от 2 до 6. По содержанию

альфа-кислот (5,4–7,5 %) многие сорта характеризовались КА > 150 %.

По комплексу изучаемых признаков выделены 9 образцов хмеля, у которых в течение трёх лет испытаний КА превысил 100 % как по урожайности, так и количеству альфа-кислоты в шишках: среднеранние – Карлик 72 и Факир (Россия); среднеспелые – Флагман (Россия), Сполэчны (Украина), Willamette (США), Шпальтский (Германия), Early Bird (Великобритания); позднеспелые – Northern Brewer и Braustern (Германия). Выделенные коллекционные образцы являются ценным исходным материалом для селекционной работы.

Список литературы

1. Korpelainen H., Pietiläinen M. Hop (*Humulus lupulus* L.): Traditional and present use, and future potential. *Economic Botany*. 2021;75:302–322. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12231-021-09528-1>
2. Rossini F., Virga G., Loreti P., Iacuzzi N., Ruggeri R., Ruggeri M. E. Hops (*Humulus lupulus* L.) as a novel multipurpose crop for the Mediterranean region of Europe: Challenges and opportunities of their cultivation. *Agriculture*. 2021;11(6):484. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11060484>
3. Sun S., Wang X., Yuan A., Liu J. Chemical constituents and bioactivities of hops (*Humulus lupulus* L.) and their effects on beer related microorganisms. *Food and Energy Security*. 2022;11(2):e367. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.367>
4. Kordialik-Bogacka E. Biopreservation of beer: Potential and constraints. *Biotechnology Advances*. 2022;58:107910. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.107910>
5. Arruda T. R., Pinheiro P. F., Silva P. I., Bernardes P. C. A new perspective of a well-recognized raw material: Phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities and α - and β -acids profile of Brazilian hop (*Humulus lupulus* L.) extracts. *LWT*. 2021;141:110905. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110905>
6. Kubeš J. Geography of world hop production 1990–2019. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2022;80(1):84–91. DOI: <https://doi.org/10.1080/03610470.2021.1880754>
7. Юсова О. А., Николаев П. Н., Кузьмич М. А., Кузьмич Л. С. Оценка исходного материала для селекции ячменя пивоваренного направления. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):79–89. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-79-89> EDN: ULCDCC
8. Афанасьева О. Г., Иванов Е. А., Макушев А. Е. Исследование мировой торговли хмелем и определение места России в товарообороте продукции. *Аграрный вестник Урала*. 2022;(S13):2–17. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-228-13-2-17> EDN: QVUWCU
9. Иванова А. О., Дементьев Д. А. Состояние хмелеводства в Чувашской республике. *Международный научный сельскохозяйственный журнал*. 2019;(2):20–25. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=plwzpn> EDN: PLWZPN
10. Чеха О. В. Анализ рынка производства и переработки хмеля в системе обеспечения продовольственной безопасности России. *Вопросы региональной экономики*. 2021;(3):95–101. DOI: <https://doi.org/10.21499/2078-4023-48-3-95-101> EDN: RHLGGG
11. Осипова Ю. С., Леонтьева В. В., Дементьев Д. А. оценка сортов коллекции хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.) по хозяйственно важным признакам. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(2):194–202. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.194-202> EDN: CWDAZQ
12. Осипова Ю. С., Иванова И. Ю., Леонтьева В. В. Оценка экологической устойчивости сортообразцов хмеля обыкновенного. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020;50(1):32–39. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-1-4> EDN: UWCHAB
13. Фадеев А. А., Никонова З. А. Результаты изучения сортообразцов хмеля разных групп спелости по хозяйственно важным признакам и устойчивости к основным болезням. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2015;(5):29–33. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24113600> EDN: UHRQBN
14. Фадеев А. А., Никонова З. А. Оценка сортообразцов коллекции хмеля обыкновенного по фенологическим и морфологическим признакам. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2018;(2):40–42. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/2/40-42> EDN: XRZFHN
15. Волкова Л. В., Амунова О. С. Наследование основных элементов продуктивности и параметров адаптивности у диаллельных гибридов яровой мягкой пшеницы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(3):340–354. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.340-354> EDN: KPQJKN

16. Леонтьева В. В. Сортоотипы хмеля обыкновенного. Международный научный сельскохозяйственный журнал. 2019;(3):25–27. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41806549> EDN: GVFOVS
17. Dementiev D., Leonteva V., Ivanova I., Fadeev A. Technology of cultivation of civil hops in Chuvashia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;839:22033. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/2/022033>
18. Осипова Ю. С. Развитие коллекции хмеля обыкновенного в неблагоприятных условиях 2023 года. Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. (Благовещенск, 18–19 апреля 2024 г.). Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2024. С. 146–150. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_68516088_27168557.pdf
19. Jastrombek J. M., Faguerazzi M. M., Pierezan H. C., Rufato L., Sato A. J., Marques V. V. et al. Hop: An emerging crop in subtropical areas in Brazil. Horticulturae. 2022;8(5):393. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050393>

References

1. Korpeläinen H., Pietiläinen M. Hop (*Humulus lupulus* L.): Traditional and present use, and future potential. Economic Botany. 2021;75:302–322. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12231-021-09528-1>
2. Rossini F., Virga G., Loreti P., Iacuzzi N., Ruggeri R., Ruggeri M. E. Hops (*Humulus lupulus* L.) as a novel multipurpose crop for the Mediterranean region of Europe: Challenges and opportunities of their cultivation. Agriculture. 2021;11(6):484. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11060484>
3. Sun S., Wang X., Yuan A., Liu J. Chemical constituents and bioactivities of hops (*Humulus lupulus* L.) and their effects on beer related microorganisms. Food and Energy Security. 2022;11(2):e367. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.367>
4. Kordialik-Bogacka E. Biopreservation of beer: Potential and constraints. Biotechnology Advances. 2022;58:107910. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.107910>
5. Arruda T. R., Pinheiro P. F., Silva P. I., Bernardes P. C. A new perspective of a well-recognized raw material: Phenolic content and antimicrobial activities and α - and β -acids profile of Brazilian hop (*Humulus lupulus* L.) extracts. LWT. 2021;141:110905. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110905>
6. Kubeš J. Geography of world hop production 1990–2019. Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2022;80(1):84–91. DOI: <https://doi.org/10.1080/03610470.2021.1880754>
7. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Kuzmich M. A., Kuzmich L. S. Assessment of source material for malting barley breeding. *Trudi po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2023;184(1):79–89. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-79-89>
8. Afanaseva O. G., Ivanov E. A., Makushev A. E. Study of global hops trade and determination of Russia's role in the product turnover. *Agrarny vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2022;(S13):2–17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-228-13-2-17>
9. Ivanova A. O., Dementiev D. A. The state of hop growing in the Chuvash Republic. *Mezhdunarodny nauchny selskokhozyaystvenny zhurnal* = International Agricultural Journal. 2019;(2):20–25. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=plwzpn>
10. Chekha O. V. Analysis of the hop production and processing market in the Russian food security system. *Voprosi regionalnoy ekonomiki*. 2021;(3):95–101. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21499/2078-4023-48-3-95-101>
11. Osipova Yu. S., Leontieva V. V., Dementiev D. A. Evaluation of varieties of common hop (*Humulus lupulus* L.) collection according to agronomic traits. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):194–202. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.194-202>
12. Osipova Yu. S., Ivanova I. Yu., Leontieva V. V. Evaluation of ecological stability of common hop varieties. *Sibirsky vestnik selskokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2020;50(1):32–39. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-1-4>
13. Fadeev A. A., Nikonova Z. A. The results of study of hop varieties of different ripeness groups for important economic traits and resistance to major diseases. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2015;(5):29–33. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24113600>
14. Fadeev A. A., Nikonova Z. A. Evaluation of the common hop variety samples according to the phenological and morphological features. *Vestnik rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2018;(2):40–42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/2/40-42>
15. Volkova L. V., Amunova O. S. Inheritance of the main elements of productivity and adaptability parameters in diallelic hybrids of spring soft wheat. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(3):340–354. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.340-354>
16. Leonteva V. V. The types of hops ordinary. *Mezhdunarodny nauchny selskokhozyaystvenny zhurnal* = International Agricultural Journal. 2019;(3):25–27. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41806549>
17. Dementiev D., Leonteva V., Ivanova I., Fadeev A. Technology of cultivation of civil hops in Chuvashia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;839:22033. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/2/022033>

18. Osipova Yu. S. The development of the collection of ordinary hops in adverse conditions in 2023. Proceedings from Agro-industrial complex: problems and prospects of development: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (Blagoveshchensk, 18–19 aprelya 2024 g.)*. Blagoveshchensk: Dalnevostochny GAU, 2024. pp. 146–150. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_68516088_27168557.pdf

19. Jastrombek J. M., Faguerazzi M. M., Pierezan H. C., Rufato L., Sato A. J., Marques V. V. et al. Hop: An emerging crop in subtropical areas in Brazil. *Horticulturae*. 2022;8(5):393. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050393>

Сведения об авторах

✉ **Дементьев Дмитрий Алексеевич**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8571-8059>, e-mail: tymondem@mail.ru

Иванова Инга Юрьевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательского институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0792-1721>

Фадеев Андрей Анатольевич, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0834-1681>

Information about the authors

✉ **Dmitriy A. Demetyev**, PhD in Agricultural Science, researcher, Chuvash Research Institute of Agriculture – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsvilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8571-8059>, e-mail: tymondem@mail.ru

Inga Yu. Ivanova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Chuvash Research Institute of Agriculture – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsvilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0792-1721>

Andrey A. Fadeev, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Chuvash Research Institute of Agriculture – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsvilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0834-1681>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Фенологические фазы развития и семенная продуктивность сортообразцов лука-шалота в условиях севера Европейской части РФ

© 2025. В. М. Мотов¹✉, М. В. Мотова¹, П. М. Скопин¹, И. А. Устюжанин¹, Т. М. Середин²

¹ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация,

²ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», г. Москва, Российская Федерация

*В настоящее время лук-шалот (*Allium ascalonicum* L.) является востребованной культурой и пользуется повсеместным спросом. В условиях Кировской области успешно ведётся селекционная работа по созданию новых сортов, устойчивых к абиотическим и биотическим факторам севера Европейской части России, благодаря которым можно будет получить крупную товарную луковицу при выращивании из семян, а также заниматься семеноводством лука-шалота. В статье представлены результаты исследований семенной продуктивности новых сортообразцов, полученных методом индивидуального и клонового отбора из гибридных популяций, адаптированных к местным условиям. Установлена возможность получения качественных кондиционных семян лука-шалота в количестве 0,8–10,7 г/растение. Изучена динамика наступления основных фенологических фаз развития маточников у различных сортообразцов лука-шалота в 2021–2023 гг., определено влияние погодных условий на их продолжительность и семенную продуктивность растений. Установлено, что вегетационный период изученных селекционных образцов лука-шалота от отрастания до уборки семян в среднем за три года составил 118 дней, а до полного созревания семян – 142 дня. Перспективными сортообразцами являются: 187, 212, 214, 216, 217 со всхожестью семян более 75 %, что приравнивается к категории «элитные семена», а также 195, 219 и сорт Грант со всхожестью более 55 %, что соответствует категории «репродукционные семена первого поколения».*

Ключевые слова: селекция лука-шалота, условия севера, маточники лука, всхожесть

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0006).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мотов В. М., Мотова М. В., Скопин П. М., Устюжанин И. А., Середин Т. М. Фенологические фазы развития и семенная продуктивность сортообразцов лука-шалота в условиях севера Европейской части РФ. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1285–1297. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1285-1297>

Поступила: 26.06.2025

Принята к публикации: 10.12.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Phenological development phases and seed productivity of shallot accessions in the northern European part of the Russian Federation

© 2025. Victor M. Motov¹✉, Margarita V. Motova¹, Pavel M. Skopin¹, Igor A. Ustiuzhanin¹, Timofey M. Seredin²

¹Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation,

²Federal Scientific Center for Vegetable Growing, Moscow region, Russian Federation

*Shallot (*Allium ascalonicum* L.) is currently a highly sought-after crop, enjoying widespread demand. In the Kirov region, breeding efforts are underway to develop new cultivars resistant to the abiotic and biotic factors of northern European Russia. These cultivars will enable the production of large, marketable bulbs when grown from seed, as well as facilitate seed production. This article presents the results of studies on the seed productivity of new cultivars obtained through individual and clonal selection from hybrid populations adapted to local conditions. It has been established that high-quality, commercial-quality shallot seeds can yield 0.8–10.7 g per plant. The dynamics of the onset of the main phenological phases of mother plant development in various shallot cultivars was studied in 2021–2023, and the effect of weather conditions on their duration and seed productivity of plants was determined. It was found that the vegetation period of the studied shallot breeding accessions from regrowth to seed harvesting averaged 118 days over three years, and 142 days to full seed ripening. Promising accessions include: 187, 212, 214, 216, and 217 with a seed germination rate of over 75 %, which equates to the "elite seeds" category; as well as 195, 219, and the 'Grant' cultivar with a germination rate of over 55 %, which corresponds to the "first generation reproductive seeds" category.*

Key words: shallot breeding, northern conditions, onion mother plants, germination

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0008).

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

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

For citation: Motov V. M., Motova M. V., Skopin P. M., Ustiuzhanin I. A., Seredin T. M. Phenological development phases and seed productivity of shallot accessions in the northern European part of the Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1285–1297. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1285-1297>

Received: 26.06.2025

Accepted for publication: 10.12.2025

Published online: 26.12.2025

Неоспорима значимость лука-шалота (*Allium ascalonicum* L.) как ценной сельскохозяйственной культуры. Важными его свойствами являются скороспелость, многозачатковость и способность формировать несколько луковиц из одной, а также прерывать период покоя при выгонке на зелёное перо, которое отличается нежным сочным вкусом и долго не грубеет. Лук-шалот широко используют для выращивания зелени, в том числе в защищённом грунте, а также самой луковицы в открытом грунте при ранневесенних сроках посадки.

Зеленый лук у культуры обычно готов к уборке на 28–30-й день, а луковицы – на 60–75-й день после начала отрастания листьев, т. е. на 15–20 дней раньше самого скороспелого сорта лука репчатого [1]. Долгое время в России лук-шалот выращивали только садоводы и огородники, благодаря которым культура широко распространилась по всей территории страны. В литературе содержатся данные о его выращивании в Сибири, районах Дальнего Востока, в Краснодарском крае и на Урале, а также в отдельных регионах Северо-Западной и Центрально-Черноземной зоны [1, 2]. В последнее время с появлением современных сортов и возрастающего спроса лук-шалот начали повсеместно выращивать фермеры. Однако для введения культуры лука-шалота в промышленное производство необходимы современные сорта и технологии, адаптированные к зоне возделывания и существующей сельхозтехнике, которые удовлетворяют спрос населения и сельхозпроизводителей.

До недавнего времени в России преобладало вегетативное размножение шалота [1] – трудоёмкий и долгий процесс размножения с высокой себестоимостью посадочного

материала нового сорта. Кроме того, одним из существенных недостатков такого способа размножения является накопление болезней в луковицах, что приводит к потере урожая и невозможности его выращивания без использования химических средств защиты. С разработкой нормативных документов, определяющих сортовые и посевные качества семян лука-шалота – «Семена лука-шалота. Сортовые и посевные качества. Технические условия» (СТО 45727225-27-2010)¹ [1], развитие селекции и семеноводства перешло на новый уровень. Внедрение семенного размножения и создание сортов стрелкующегося лука-шалота позволяет в разы увеличить коэффициент размножения сорта, снизить накопление болезней и даёт возможность его выращивания с помощью биологических фунгицидов. Все это поможет обеспечить импортозамещение посадочного материала лука-шалота и внесет вклад в продовольственную независимость страны.

С 2019 г. в лаборатории селекции овощных культур в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока проводится селекция стрелкующегося лука-шалота по адаптации к абиотическим условиям северных регионов Европейской части РФ. Большое внимание в селекции уделяется урожайности, вкусовым качествам, а также созданию сортов, подходящих для механизированной технологии производства. Разрабатываются технологии выращивания лука-шалота, в том числе для повышения эффективности селекции и семеноводства. Результатом совместной работы с Научно-производственной фирмой «Агросемтомс» является сорт лука-шалота Надёжный, зарегистрированный в «Реестре селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ»² [3, 4], а также разработана

¹СТО 45727225-27-2010. Семена лука шалота. Сортовые и посевные качества. Стандарты орг. на семена, ТТП их пр-ва и овощную продукцию. Всерос. науч.-исслед. ин-т селекции и семеноводства овощных культур. М.: Изд-во ВНИИССОК, 2011. Вып. 2. С. 54–64.

²Сорт лука-шалота Надёжный. Реестр селекционных достижений. ФГБУ «Госсорткомиссия» – официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/nadvezhnyy-luk-shalot/?ysclid=misiclm7pc73504818> (дата обращения: 04.06.2025).

и апробирована технология возделывания лука-шалота рассадным способом из семян для получения крупной луковицы с возможностью механизировать процессы для промышленного выращивания лука-шалота в северных регионах РФ [5, 6]. Разработанную технологию применяли в селекционном процессе для получения маточников стрелкующегося лука-шалота.

Известно, что выращивание в производстве энергосберегающих, энергетически эффективных и адаптированных сортов позволяет максимально использовать климатический потенциал зоны возделывания и, как следствие, обеспечивает сохранение почвы и её естественного плодородия, защиту от эрозии, засоления, снижение потребления энергосредств на производство продукции [7]. Выращивание в производстве, фермерских и личных подсобных хозяйствах местных сортов и местных семян не только повысит экономическую эффективность, но и обеспечит импортозамещение сортов иностранной селекции, а за счёт сокращения логистических и транспортных расходов на доставку посевного и посадочного материала позволит снизить негативную нагрузку на окружающую среду – выбросы CO₂ в атмосферу.

Цель исследования – установить динамику наступления фенологических фаз развития маточников лука-шалота для получения семян новых генотипов при селекции на устойчивость к абиотическим условиям севера Европейской части РФ.

Задачи исследования:

- оценить прохождение фенологических фаз развития маточников лука-шалота разных генотипов, выделить образцы, способные производить семена;

- определить семенную продуктивность изучаемых сортов образцов лука-шалота;

- изучить энергию прорастания, всхожесть и массу продуктивных семян, полученных от новых сортов образцов;

- оценить пригодность климатических условий региона для выращивания семян лука-шалота;

- описать фенотип маточников – адаптированных и продуктивных сортов образцов стрелкующегося лука-шалота.

Научная новизна – впервые установлена продолжительность фенологических фаз развития маточников лука-шалота в условиях севера Европейской части России.

Материал и методы. Полевые исследования проводили на селекционном участке ООО НПФ «Агросемтомс» (Кировская область, Оричевский район, д. Тиваненки). Почва дерново-подзолистая, обладает высоким агрофоном, в пахотном слое почвы содержание: гумуса 4,35 %; рН_{KCl} = 4,78; P₂O₅ > 250 мг/кг, K₂O > 250 мг/кг почвы (по Кирсанову).

В исследовании использовали маточные луковицы перспективных сортов образцов, адаптированных к климатическим условиям Волго-Вятского региона с 2010 г. путём многократного селекционного отбора из гибридных популяций. Первичный материал получен от межвидового скрещивания лука-шалота с луком репчатым: при гибридизации и отборе были задействованы местные сорта, а также сорта образцы из европейских и дальневосточных стран. В процессе селекции проводили отбор сортов образцов, характеризующихся разнообразием морфологических (форма, цвет) и хозяйственно ценных (вкус, лёжка, устойчивость) признаков [8].

Исходные гибридные и инцухтированные семена высевали в кассеты для получения рассады, что исключало необходимость прохождения стадии севка и обеспечивало формирование полноценных луковиц (маточников). Из полученных луковиц методом клонового отбора формировали маточные растения. Маточники в зимний период хранили при низких температурах, а весной высаживали в ёмкости с изоляторами, которые в период цветения подвергались инцухту с помощью насекомых для получения семян, которые использовали для повторения цикла. Стабилизация желаемых признаков по сортам образцам лука-шалота достигалась в 4-м, а чаще в 6-м поколении [5].

В общей сложности селекционную работу представленных сортов образцов проводили 13 лет, из которых 9 лет на коллекционном участке ООО НПФ «Агросемтомс», а с 2019 г. адаптированные перспективные сорта образцы лука-шалота из коллекции были переданы в лабораторию селекции овощных культур ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого».

В 2021 г. выделили 6 перспективных сортов образцов. В 2022 г. из полученных семян вырастили маточные луковицы, провели клоновый отбор по основным фенотипическим признакам и изучали 7 сортов образцов, в 2023 г. – выравненные по фенотипу 15 сортов образцов и сорт Гранд.

В исследованиях использовали общепринятые методики³, а также методику проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность лука⁴. Перед посадкой маточники обрабатывали фунгицидом Максим (2 мл/л, время экспозиции 30 минут). В сосуды с изоляторами высаживали здоровые маточные луковицы с типичными сортовыми признаками диаметром от 40 до 64 мм. Считается, что диаметр маточных луковиц репчатого лука должен быть не менее 40–50 мм, но не более 70–80 мм в зависимости от агроклиматических условий региона [9, 10]. В исследованиях И. С. Мастяева и других на репчатом луке в условиях Предгорной зоны Северного Кавказа установлено, что использование маточных луковиц диаметром (60–80 мм) обеспечивает высокую урожайность семян (500–700 кг/га) [11].

Для решения поставленных задач определяли биометрические показатели луковицы и отмечали фенологические фазы развития маточников: даты посадки, отрастания; появление стрелки; растрескивание покрывала; начало цветения; окончание цветения; созревание семян; уборка (при раскрытии семенных коробочек у соцветия не более 1%); дозаривание семян. Оценивали количественные показатели маточников: число стеблей, листьев на стебле, стрелок; количество продуктивных семян с одного растения в граммах; количество семян в одном грамме; массу 1000 семян. Определяли биометрические показатели маточников – высоту стрелки, диаметр соцветия.

Для получения исходных семян каждый сортообразец содержали под изолятором во избежание стихийного опыления насекомыми. Всхожесть полученных семян определяли по ГОСТ 12038-84⁵.

Кировская область входит в Приволжский федеральный округ и относится ко второй световой зоне с суммой ФАР – 400–580 кал/см² с континентальным типом климата умеренного пояса. Из-за близости к Северному Ледовитому океану и отсутствия барьеров для проникновения полярных воздушных масс возможны вторжения холодного воздуха, порождающие резкие похолодания летом [12].

Согласно данным Кировского ЦГМС – филиала ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС», вегетационный период основных сельскохозяйственных культур умеренных широт со средне-суточной температурой выше 5 °С начинается с 24 апреля (средняя дата начала периода) и заканчивается 10 октября (средняя дата окончания периода). Средняя продолжительность вегетационного периода – 172 дня. Среднегодовые данные агроклиматических характеристик по наблюдениям метеостанции, расположенной в г. Кирове Кировской области приведены в таблице 1.

С апреля по начало октября в г. Кирове наблюдается ожидаемый рост суммы эффективных температур в течение вегетационного периода (с апреля по август), с замедлением роста в сентябре и начале октября. В июле достигается наибольший прирост (до 1030,7 °С), что является пиковым месяцем вегетации.

Таблица 1 – Средняя многолетняя сумма эффективных температур выше +5 °С нарастающим итогом на последний день месяца, °С (г. Киров, 1991–2024) /

Table 1 – Average long-term sum of effective temperatures above +5 °С cumulatively on the last day of the month, °С (Kirov, 1991–2024)

<i>Апрель / April</i>	<i>Май / May</i>	<i>Июнь / June</i>	<i>Июль / July</i>	<i>Август / August</i>	<i>Сентябрь / September</i>	<i>I декада октября / First ten days of October</i>
34,9	252,1	607,8	1030,7	1377,8	1540,0	1565,4

³Методические указания по селекции луковых культур. Под ред. Ершова И. И., Агафонова А. Ф. М.: ВНИИССОК, 1997. 122 с.; Бакулина В. А., Белехова К. А., Боос Г. В. и др. Руководство по апробации овощных культур и кормовых корнеплодов. Под ред. Д. Д. Брежнева. М.: Колос, 1982. 415 с.; Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.; Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве. Под ред. В. Ф. Белика. М.: Агропромиздат, 1992. 318 с.

⁴RTG/0046/2. Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. Лук репчатый. Лук шалот. 5 сентября 2000 г. № 12-06/16.

⁵ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Стандартинформ, 2011. 31 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294838/4294838875.pdf>

Метеорологические условия периодов вегетации 2021–2023 гг. (табл. 2) характеризовались значительной изменчивостью, особенно по теплообеспеченности мая – в 2022 г. отмечали самые низкие значения среднемесячной температуры воздуха и суммы эффективных

температур в сравнении с 2021 и 2023 гг. В среднем в годы исследований температура колебалась в пределах нормы по региону, а по количеству осадков наблюдалось значительное их снижение в июле 2022 г. и августе 2022–2023 гг.

Таблица 2 – Метеорологические условия в период вегетации лука-шалота (2021–2023 гг.) (по данным метеостанции г. Кирова) /

Table 2 – Meteorological conditions during the growing season of shallot (2021–2023) (according to the Kirov weather station)

Месяц / Month	Средняя температура воздуха, °C / Average air temperature, °C				Количество осадков, мм / Precipitation amount, mm				Сумма эффективных температур, °C / The sum of effective temperatures, °C			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее / average	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее / average	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее / average
Май / May	15,0	8,5	13,8	12,4	57,0	53,0	45,0	51,7	320,0	143,9	339,4	267,8
Июнь / June	19,9	16,0	14,1	16,8	63,0	117,0	30,0	70,0	767,3	475,4	611,4	618,0
Июль / July	19,0	19,9	18,6	19,2	93,3	54,0	177,0	108,1	1207,5	938,9	1034,8	1060,4
Август / August	18,8	20,0	17,4	18,7	37,0	18,0	15,0	23,3	1634,8	1402,1	1418,1	1485,0

Таблица 3 – Средние многолетние климатические показатели (по данным метеостанции г. Кирова, 1991–2020 гг.) / Table 3 – Average long-term climate indicators (according to data from the Kirov weather station, 1991–2020)

Показатель / Indicator	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August
Средняя температура воздуха, °C / Average air temperature, °C	11,9	16,4	18,9	15,9
Среднее количество осадков, мм / Average precipitation, mm	54	81	82	73
Среднее количество дождливых дней / Average number of rainy days	18	19	18	20
Средняя относительная влажность, % / Average relative humidity, %	60	67	70	76
Среднемесячное количество солнечных часов / Average monthly number of sunshine hours	265	284	269	233

При сравнении средних данных за период «май – август» в годы исследований (табл. 2) со средними многолетними показателями (табл. 3), отмечено, что отклонения по температуре были незначительные – на 0,3–2,8 °C выше, по осадкам – меньше на 2,3–49,7 мм в мае, июне и августе и больше на 26,1 мм в июле. Количество дождливых дней на протяжении всего периода вегетации по среднемноголетним данным составляет от 18 до 20 дней. Относительная влажность воздуха постепенно увеличивается от 60 % (май) до 76 % (август), что связано с понижением температуры воздуха и увеличением количества осадков. Количество солнечных часов сокращается от 284 ч. (июнь) до 233 ч. (август), большее их количество

приходится на май и июль – благоприятные условия для фотосинтеза и развития лука-шалота. Общая тенденция показывает, что в изучаемый период условия вегетации лука-шалота характеризовались незначительными отклонениями температуры, однако отмечены существенные колебания по количеству осадков (избыток в июле и недостаток в августе) по сравнению со среднемноголетними данными.

По мнению ряда учёных [12, 13], на протяжении нескольких десятков лет происходит увеличение скорости роста среднегодовой температуры воздуха (0,47 °C/10 лет) и количество осадков (5,7 % нормы за 10 лет) на территории России, что в 2,5 раза больше скорости роста глобальной температуры (0,17–0,18 °C/10 лет)

и более чем в 1,5 раза выше средней скорости потепления приземного воздуха над сушей Земного шара (0,28–0,29 °C/10 лет), что может иметь негативные последствия, в том числе и для сельского хозяйства. В условиях Кировской области наблюдается увеличение температуры на фоне существенного снижения количества осадков. Влияние глобальных изменений климата на окружающую среду – одна из актуальных проблем, поэтому мы отслеживаем закономерности, фиксируем наблюдения.

Сельское хозяйство, в том числе и в Кировской области [14], находится под непосредственным влиянием антропогенных факторов – механизации, химизации, селекции и прочих, развитие которых позволяет не только нара-

щивать агротехнический потенциал, но и противостоять неблагоприятным погодным условиям. Мы считаем, что селекция луковых культур на адаптивность к местным условиям выращивания вносит значимый вклад в повышение стабильности сельскохозяйственного производства в меняющихся условиях.

Результаты и их обсуждение. По результатам наблюдений за фенологическими фазами развития, маточники сортообразцов стрелкующегося лука-шалота успевают пройти полный цикл своего развития и сформировать продуктивные семена. На протяжении изучения фенологические фазы развития у стрелкующегося лука-шалота были устойчивыми вне зависимости от погодных условий (табл. 4).

Таблица 4 – Продолжительность фенологических фаз развития стрелкующегося лука-шалота в Кировской области Волго-Вятского региона, дни /

Table 4 – Duration of phenological phases of development of bolting shallot in the Kirov region of the Volga-Vyatka region, days

<i>Фенофаза развития лука-шалота / Phenological phase of shallot development</i>	<i>2021 г.</i>	<i>2022 г.</i>	<i>2023 г.</i>	<i>В среднем за 3 года / On average for 3 years</i>
Период от отрастания / The period from regrowth:				
- до стрелкования / to shooting	23	20	30	24
- до растрескивания покрывала / to cracking of the bedspread	50	48	59	52
- до начала цветения / to the beginning of flowering	61	58	75	65
- до окончания цветения / to the end of flowering	86	82	100	89
- до уборки семян / to harvesting of seeds	117	114	122	118
- до созревания семян / to seed ripening	-	-	142	-

Продолжительность вегетационного периода – один из наиболее существенных признаков в селекции, зависящий от происхождения образцов и почвенно-климатических условий выращивания [15]. Исследованиями Е. В. Шиляевой [16] установлено, что в климатических условиях Кировской области вегетационный период лука-шалота является стабильным сортовым признаком, который не зависит от размера посадочного материала и схемы размещения при посадке. Именно этот признак определяет, успеют созреть семена в данных климатических условиях или нет.

В наших исследованиях отмечали срок созревания семян. Самый продолжительный вегетационный период зафиксирован в 2023 г. – 122 дня, самый короткий в 2022 г. – 114 дней. В Кировской области вегетационный период маточников стрелкующегося лука-шалота в среднем за три года составил 118 дней. Следует отметить, стрелкование лука-шалота

наступало через 24 дня от отрастания, растрескивание покрывала – на 52-й, начало цветения на 65-й, окончание – на 89-й день. Вегетационный период до полного созревания семян с дозариванием в вентилируемом помещении в 2023 г. составил 142 дня.

Наступление и продолжительность основных фенологических фаз сортообразцов маточников лука-шалота в течение периода вегетации за 3 года представлены в таблице 5.

Ускоренный селекционный процесс лука-шалота ежегодно состоял из двух параллельных этапов наблюдений: 1 – определение фенологических фаз развития и получение продуктивных семян у каждого образца; 2 – получение маточной луковицы рассадным способом, минуя стадию севка. Из общей совокупности растений каждого образца методом клонового отбора выделяли образец с однородным фенотипом и присваивали новый номер.

Таблица 5 – Наступление и продолжительность фенологических фаз развития маточников лука-шалота по сортообразцам (за 2021–2023 гг.)
Table 5 – Onset and duration of phenological phases of shallot mother plant development by accessions (for 2021–2023)

Год / Year	Фенологические фазы / Phenological phases																	
	Период от отрастания / Period from regrowth																	
	до стрелкования / to shooting			до растрескивания покрывала / to cracking of the bedspread			до начала цветения / to the beginning of flowering			до окончания цветения / to the end of flowering			до уборки семян / to seed harvesting			до созревания семян / to maturation of seeds		
дата / date	дни / days	по образ- цам / by accessions	дата / date	дни / days	по образ- цам / by accessions	дата / date	дни / days	по образ- цам / by accessions	дата / date	дни / days	по образ- цам / by accessions	дата / date	дни / days	по образ- цам / by accessions	дата / date	дни / days	по образ- цам / by accessions	
2021	2.05– 14.05	19–28	min – 136, max – 80	26.05– 11.06	29–59	min – 136, max – 100, 132	9.06– 18.06	56–66	min – 136, max – 132	5.07– 14.07	82–88	min – 136, max – 80	7.08– 12.08	115–118	min – 136, max – 100, 80	-	-	-
2022	2.06– 1.06	17–23	min – 139, max – 125	19.06– 17.07	41–69	min – 132, max – 139, 125	1.07– 19.07	53–71	min – 132, max – 125	24.07– 12.08	76–95	min – 83, max – 125	5.09– 31.08	112–117	min – 112, 117; max – 139; 132	-	-	-
2023	2.05– 24.05	21–39	min – Грант, max – 182	31.05– 4.06	51–76	min – 195, max – 213	24.06– 15.07	70–83	min – 195, max – 213	22.07– 9.08	92–106	min – 195, max – 213	9.08– 4.09	112– 134	min – Грант / ‘Grant’; max – 213; 215	29.08– 17.09	128– 159	min – Грант, max – 187

В 2021 г. выделен сортообразец 136 с самым коротким периодом вегетации 115 дней – от отрастания до уборки семян. Кроме того, во все фенологические фазы он входил раньше других сортообразцов. В 2022 г. скороспелыми выделены сортообразцы 139 и 132 с периодом вегетации 112 дней, в 2023 г. – сортообразцы Грант и 213 – 112 дней.

Вегетационный период от отрастания до уборки семян стрелкующегося лука-шалота в среднем за 3 года составил 112–134 дня, продолжительность от отрастания до цветения – 53–83 дня (июнь – II декада июля). В июле 2023 г., который характеризовался большим количеством атмосферных осадков (177 мм), фаза цветения наступила позже – 26.06, а цветение продлилось до 9.08 – впервые за 3 года.

Цветение – важное условие получения семян лука-шалота. Согласно публикациям К. М. Хохар с соавт. [17], умеренная температура (12,2–17,8 °С) и более длительный фотопериод увеличивали количество соцветий, при более высоких температурах (23,0–24,4 °С) количество соцветий уменьшалось с удлинением фотопериода. В условиях низких температур завязывание цветка ускоряется при длинном фотопериоде от 8 до 14 ч/дн. [9]. В наших исследованиях в 2021 г. цветение лука-шалота отмечено в июне на 56–66-й день от отрастания при среднемесячной температуре 19,9 °С, в 2022 г. – в июле на 53–71-й день (19,9 °С), в 2023 г. – в конце июня – начале июля на 79–83-й день (14,1–18,6 °С). Долгота дня в среднем составила 16 ч/дн. Опыление образцов проводили в изоляторах подсадными насекомыми. В целом погодные условия были пригодными для получения семян.

Продолжительность фенологических фаз стрелкующегося лука-шалота представлена в таблице 6. Дозаривание семян после уборки проводили в вентилируемом помещении на решётах.

Продолжительность цветения в среднем по маточникам лука-шалота составила 35–47 дней по годам исследований. Дольше всего – 47 дней цветение продолжалось в июле 2023 г. (18,6 °С и 177 мм осадков), самый короткий период цветения отмечен в июне 2021 г. (19,9 °С и 63,0 мм осадков). Продолжительность созревания семян от конца цветения до уборки составила 26–35 дней. Короткий период созревания был в 2023 г. – 26 дней в конце июля – августе при умеренной средней

температуре 18,6–17,4 °С и снижении количества осадков в августе до 15 мм. В условиях 2021 г. период созревания был самым продолжительным – 35 дней после цветения в начале августа (18,8 °С и 37 мм осадков).

Послеуборочное дозаривание семян в вентилируемом помещении в 2023 г. составило 23 дня. Фенотипические признаки изучаемых в 2023 г. сортообразцов представлены в таблице 7.

Таблица 6 – Продолжительность фенологических фаз развития маточников лука-шалота, дни (в среднем по сортообразцам) /

Table 6 – Duration of phenological phases of shallot mother plant development, days (average over the accessions)

<i>Фенологическая фаза / Phenological phase</i>	<i>2021 г.</i>	<i>2022 г.</i>	<i>2023 г.</i>
Цветение / Flowering	35	42	47
Созревание семян (конец цветения – уборка) / Seed maturation (end of flowering – harvesting)	35	32	26
Продолжительность уборки семенников по сортообразцам / Duration of seed harvesting over accessions	6	6	20
Послеуборочное дозаривание семян / Post-harvest ripening of seeds	-	-	23

Таблица 7 – Основные фенотипические признаки маточных лукович новых образцов лука-шалота (2023 г.) /

Table 7 – Main phenotypic characteristics of mother bulbs of new shallot accessions (2023)

<i>Сортообразец / Accession</i>	<i>Признак / Characteristics</i>					
	<i>форма / form</i>	<i>масса, г / weight, g</i>	<i>высота см / height cm</i>	<i>диаметр, см / diameter, cm</i>	<i>индекс формы h/d / form index h/d</i>	<i>окраска сухих чешуй / color of dry skin</i>
117	Эллиптическая / Elliptical	203	13,0	6,4	2,0	Коричневая / Brown
144		232	15,5	6,1	2,5	
182		114	14,0	5,0	2,7	Розовая / Pink
187		102	11,0	5,2	2,1	Красная / Red
217		111	12,0	4,6	2,6	Розовая / Pink
195	Широко эллиптическая / Broadly elliptical	116	9,5	5,5	1,73	Розовая / Pink
210	Поперечно-эллиптическая / Transversely elliptical	86	4,3	5,9	0,73	Жёлтая / Yellow
212	Эллиптическая / Elliptical	55	8,0	4,0	2,0	Красная / Red
213	Широко эллиптическая / Broadly elliptical	120	8,7	5,6	1,6	Жёлтая / Yellow
214	Округлая / Rounded	145	7,0	6,4	1,1	Розовая / Pink
215	Эллиптическая / Elliptical	95	9,5	4,7	2,0	Жёлтая / Yellow
216		86	12,0	4,0	3,0	Розовая / Pink
217		111	12,0	4,6	2,6	
219		104	11,0	5,0	2,2	Красная / Red
229		104	11,0	5,0	2,2	
Грант / 'Grant'		99	10,1	4,8	2,1	Жёлтая / Yellow

По форме луковица/луковка делится на 9 индексов, в нашем исследовании присутствовали селекционные образцы четырёх: 1 – эллиптическая, самая многочисленная, насчитывает 12 сортообразцов; 2 – широко эллиптическая – 195, 213; 8 – поперечно эллиптическая – 210; 4 – округлая – 214.



Рис. 1. Основные образцы маточников лука-шалота (2023 г.) /

Fig 1. Main samples of shallot mother plants (2023)

Один из селекционных признаков отличия лука-шалота от репчатого – это более мелкие семена [18]. Семенники убирали в момент начала растрескивания коробочек (не более 1 % от общего количества в соцветии), просушивали и дозаривали в вентилируемом помещении (рис. 2). Затем семена обмолачивали, отделяли шелуху и пустые семена от продуктивных, взвешивали, определяли посевные качества: энергию прорастания и всхожесть. За основу подробного изучения взяли 2023 г., так как в 2021 и 2022 гг. мы отработывали способ инкутирования растений в изоляторах. Необходимо было фазы развития насекомых-опылителей совместить с фазами цветения у растений. Семена в 2021-2022 гг. получали, но из-за несовпадения фаз количество семян было занижено и их не хватало для полного анализа. Семенная продуктивность и качество семян лука-шалота представлена в таблице 8.

Окраска луковиц – это сортовой признак, не связанный со вкусом. У изученных сортообразцов окраска сухих чешуй четырёх цветов: коричневая: 117, 144; розовая – 182, 195, 214, 216, 217; красная – 187, 212, 219, 229; жёлтая – 210, 213, 215, Грант (рис. 1).



Рис. 2. Дозаривание семян лука-шалота (2023 г.) /

Fig 2. Shallot seeds after ripening (2023)

В результате получили семена лука-шалота массой от 0,8 до 10,7 г/растение. Масса 1000 семян составила от 2,12 до 4,28 г, максимальное количество семян в одном грамме – 469 шт. у сортообразцов 214 и 215.

Всхожесть определяли по ГОСТ 12038-84⁶. Из 15 сортообразцов два не сформировали достаточного количества семян, остальные обладали энергией прорастания на уровне 53–86 %. Всхожесть категории ЭС, РС 1 (>75 %) получили у образцов 187, 144, 212, 214, 216, 217, категории РС 1-2 (>55 %) – 195, 219, Грант. Семена двух селекционных образцов (144 и 210) были некондиционными с низкой всхожестью, так как не успели физиологически созреть – июль 2023 г. был самым дождливым (177 мм осадков) за годы исследований и самым холодным (18,6 °С). Однако 13 сортообразцов отобраны как адаптированные к местным условиям и пригодные для семеноводства.

⁶ГОСТ 12038-84. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294838/4294838875.pdf>

Таблица 8 – Семенная продуктивность и качество семян сортообразцов лука-шалота (2023 г.) /
Table 8 – Seed productivity and seed quality of shallot accessions (2023)

Сортообразец / Accession	Кол-во луковиц, шт. / Number of bulbs, pcs.	Масса семян, г / Weight of seeds, g	Масса семян с растения, г / The mass of seeds per plant, g	Кол-во семян в 1 г, шт. / Number of seeds per 1 g, pcs.	Масса 1000 семян, г / Weight 1000 seeds, g	Энергия прорас- тания, % / Germination energy, %	Всхо- жесть, % / Germi- nation, %
117	1	0,8	0,8	294	3,40	-	-
144	1	9,5	9,5	289	3,46	53	79
182	2	3,2	1,6	288	3,48	72	87
187	3	26,4	8,8	269	3,72	86	90
195	1	2,3	2,3	446	2,24	57	66
210	1	10,7	10,7	317	3,16	44	62
212	3	14,8	4,9	383	2,62	76	79
213	2	1,8	0,8	408	2,34	-	-
214	3	11,2	3,7	469	2,16	76	81
215	3	8,5	2,8	469	2,12	73	83
216	6	11,6	1,9	365	2,72	82	88
217	3	26,6	8,9	315	3,20	86	97
219	5	24,1	4,8	374	2,68	59	76
Грант / 'Grant'	4	14,9	3,7	230	4,28	60	74

Заключение. В ходе исследований в условиях Кировской области изучены и детально описаны фенологические фазы развития стрелкующегося лука-шалота, определена их продолжительность, что важно при селекции и семеноводстве новых адаптируемых сортов.

За период с 2021 по 2023 г. установлено, что вегетационный период от отрастания до уборки у сортообразцов составил от 112 до 134 дней, в среднем за три года – 118 дней, а до полного созревания семян – 142 дня. Учитывая, что средняя продолжительность вегетационного периода сельскохозяйственных культур в регионе исследований за последние 23 года составила 172 дня, все отобраненные образцы лука-шалота можно использовать при селекции и семеноводстве в условиях Кировской области (север Европейской части России).

Изучение продуктивности растений показало, что с одного растения, в зависимости

от сортообразца и количества стрелок, можно получить от 0,8 до 10,7 г продуктивных семян.

На основании исследования качества семенного материала установлено, что энергия прорастания составила от 53 до 86 %, всхожесть – от 62 до 97 %. Полученные результаты подтверждают пригодность климатического потенциала региона для выращивания семян стрелкующегося лука-шалота.

Особую перспективу в качестве адаптированных к местным условиям представляют сортообразцы: 187, 212, 214, 216, 217, всхожесть семян которых более 75 %. Выделенные сортообразцы являются ценным генетическим материалом для селекции новых сортов лука-шалота, обладающих устойчивостью к наблюдаемым климатическим флуктуациям и предназначенных для возделывания в регионе изучения.

Список литературы

1. Павлов Л. В., Параскова О. Т., Агафонов А. Ф., Кононыхина В. М. Семена лука шалота – новый объект стандартизации. Вестник овощевода. 2012;(2):31–33.
 2. Малыгина О. В., Шишкина Е. В., Жаркова С. В. Результаты и современное состояние селекции лука шалота в ФГБНУ "Западно-Сибирская овощная опытная станция" ВНИИО. Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. ст. в 3 книгах. Барнаул: Алтайский ГАУ, 2016. Т. 2. С. 165–166.
- Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25958991> EDN: VWBOTH

3. Мотова М. В., Денисова А. В., Мотов В. М. Генетические ресурсы луковых культур Северо-Востока России в коллекции лаборатории селекции овощных культур ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы VII Международн. научн.-практ. конф. Под общ. ред. И. А. Устюжанина. Киров: ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, 2021. С. 15–19. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ykvvyyx> EDN: YKVVYX
4. Мотов В. М., Мотова М. В., Барышев Н. Г. Лук шалот сорта Надёжный: пат. на селекционное достижение №11966 (Российская Федерация). №7953509 с датой приоритета; заяв. 30.09.2020; регистрация в гос. Реестре охраняемых селекционных достижений от 28.01.2022.
5. Мотов В. М., Денисова А. В., Чеглакова О. А., Мотова М. В. Особенности производства лука-шалота сорта Истобенский при выращивании рассадным методом. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(5):540–548. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.540-548> EDN: FEITTT
6. Скопин П. М., Мотова М. В., Мотов В. М. Рассадный метод выращивания лука-шалота как элемент селекции на Северо-Востоке РФ. Коньяевские чтения – 2021: сб. ст. Международн. научн.-практ. конф. Екатеринбург: Уральский ГАУ, 2022. С. 30–33. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49733535> EDN: VRZARL
7. Жаркова С. В. Формирование параметров адаптивности и стабильности сортообразцов лука репчатого в зависимости от условия среды. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018;(5):71–75. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35315003> EDN: XUGFAT
8. Мотов В. М., Денисова А. В., Мотова М. В., Чеглакова О. А. Новые формы лука шалота в условиях Северо-Востока. Картофель и овощи. 2019;(9):36–38. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.77.35.005> EDN: XMFBMH
9. Khodadadi M., Hassanpanah D. The effects of planting date and mother bulb size on quantitative and qualitative seed traits of onion red rey variety. International Journal of Agricultural Research and Review. 2012;(2):324–327.
10. Ashagrie T., Belew D., Alamerew S., Getachew Y. Effects of planting time and mother bulb size on onion (*Allium cepa* L.) seed yield and quality at kobo woreda, Northern Ethiopia. International Journal of Agricultural Research. 2014;9(5):231–241. DOI: <https://doi.org/10.3923/ijar.2014.231.241>
11. Мастяев И. С., Агафонов А. Ф., Кривенков Л. В., Подорогин В. А., Ушаков В. А. Влияние сроков, схемы, глубины посадки и размера маточных луковиц на продуктивность семенных растений и качество семян лука репчатого в условиях предгорной зоны Северного Кавказа. Овощи России. 2022;(1):55–62. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-55-62> EDN: WINIOJ
12. Переведенцев Ю. П., Френкель М. О., Шаймарданов М. З. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области. Казань: Казанский ГУ, 2010. 243 с. Режим доступа: <https://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/21868/781793.pdf>
13. Кошкин Е. И., Андреева И. В., Гусейнов Г. Г. Влияние глобальных изменений климата на продуктивность и устойчивость сельскохозяйственных культур к стрессорам. Агрехимия. 2019;(12):83–96. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119120068> EDN: OXJPEY
14. Лыскова И. В., Суховеева О. Э., Лыскова Т. В. Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2): 244–253. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253> EDN: UZZUSA
15. Жаркова С. В., Шишкина Е. В., Жарков В. Г. Динамические характеристики образцов лука шалота в различных климатических условиях юга Западной Сибири. Вестник Алтайского аграрного университета. 2015;(9):40–43. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24167432> EDN: UIWGKD
16. Шиляева Е. А. Элементы сортовой технологии лука шалота для условий северо-восточной зоны Приволжского федерального округа. Chronos. 2020;(9(47)):59–62. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ftkpqa> EDN: FTKPQA
17. Khokhar K. M., Hadley P., Pearson S. Effect of Photoperiod and Temperature on Inflorescence Appearance and Subsequent Development towards Flowering in Onion Raised from Sets. Scientia Horticulturae. 2007;112(1):9–15. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.009>
18. Середин Т. М., Шумилина В. В., Агафонов А. Ф., Жаркова С. В., Сузан В. Г., Мотов В. М. и др. Выращивание лука шалота в условиях Нечерноземья и на юге Западной Сибири. Омск: ООО «Издательский центр КАН», 2019. 44 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38515829> EDN: ZYHCQH

References

1. Pavlov L. V., Paraskova O. T., Agafonov A. F., Kononykhina V. M. Shallot seeds are new standardization objects. *Vestnik ovoshchevoda*. 2012;(2):31–33. (In Russ.).
2. Malykhina O. V., Shishkina E. V., Zharkova S. V. Results and current state of shallot breeding at the West Siberian Vegetable Experimental Station VNIIO. Agricultural science to the agriculture: collection of articles in 3 books. Barnaul: *Altayskiy GAU*, 2016. Vol. 2. pp. 165–166. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25958991>

3. Motova M. V., Denisova A. V., Motov V. M. Genetic resources of the allioideae in the North-East of Russia in the collection of the laboratory of breeding of vegetable crops in the Federal Agricultural Research Centre of the North-East named N. V. Rudnitsky. Methods and technologies in plant breeding and crop production: materials of the VII International Scientific- practical conference. Under the general editorship of I. A. Ustyuzhanin. Kirov: *FANTS Severo-Vostoka imeni N. V. Rudnitskogo*, 2021. pp. 15–19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ykvvyx>
4. Motov V. M., Motova M. V., Baryshev N. G. Shallot of the ‘Nadezhny’ cultivar: patent for breeding achievement No. 11966 (Russian Federation). No. 7953509 with priority date; application 30.09.2020; registration in the State Register of Protected Breeding Achievements dated 28.01.2022.
5. Motov V. M., Denisova A. V., Cheglakova O. A., Motova M. V. Specific features of production of Istobensky variety shallot grown by transplanting method. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(5):540–548. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.540-548>
6. Skopin P. M., Motova M. V., Motov V. M. Growing shallots by transplant as an element of selection in the North-East of Russian Federation. *Konyaev Readings – 2021: collection of articles of the international scientific and practical conference*. Ekaterinburg: *Ural'skiy GAU*, 2022. pp. 30–33. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49733535>
7. Zharkova S. V. Formation of adaptability and stability parameters of bulb onion candidate varieties depending on the environmental conditions. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2018;(5):71–75. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35315003>
8. Motov V. M., Denisova A. V., Motova M. V., Cheglakova O. A. New forms of shallots in the North-East of Russia. *Kartofel' i ovoshchi = Potato and Vegetables*. 2019;(9):36–38. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.77.35.005>
9. Khodadadi M., Hassanpanah D. The effects of planting date and mother bulb size on quantitative and qualitative seed traits of onion red rey variety. *International Journal of Agricultural Research and Review*. 2012;(2):324–327.
10. Ashagrie T., Belew D., Alamerew S., Getachew Y. Effects of planting time and mother bulb size on onion (*Allium cepa* L.) seed yield and quality at kobo woreda, Northern Ethiopia. *International Journal of Agricultural Research*. 2014;9(5):231–241. DOI: <https://doi.org/10.3923/ijar.2014.231.241>
11. Mastyaev I. S., Agafonov A. F., Krivenkov L. V., Podorogin V. A., Ushakov V. A. The effects of timing, scheme, planting depth and size of the uterine bulbs on the productivity of seed plants and seed quality onions in the conditions of the Foothill zone of the North Caucasus. *Ovoshchi Rossii = Vegetable crops of Russia*. 2022;(1):55–62. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-55-62>
12. Perevedentsev Yu. P., Frenkel' M. O., Shaymardanov M. Z. Current changes in the climatic conditions and resources of the Kirov region. Kazan': *Kazanskiy GU*, 2010. 243 p. URL: <https://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/21868/781793.pdf>
13. Koshkin E. I., Andreeva I. V., Guseynov G. G. Impact of global climate change on productivity and stress tolerance of field crops. *Agrohimiya*. 2019;(12):83–96. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119120068>
14. Lyskova I. V., Sukhoveeva O. E., Lyskova T. V. The influence of local climate change on the productivity of spring cereals in the Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(2):244–253. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253>
15. Zharkova S. V., Shishkina E. V., Zharkov V. G. Dynamic features of shallot accessions under different climatic conditions of the south of West Siberia. *Vestnik Altayskogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2015;(9):40–43. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24167432>
16. Shilyaeva E. A. Elements of the varietal technology of shallots for the conditions of the north-eastern zone of the Volga Federal District. *Chronos*. 2020;(9(47)):59–62. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ftkqqa>
17. Khokhar K. M., Hadley P., Pearson S. Effect of Photoperiod and Temperature on Inflorescence Appearance and Subsequent Development towards Flowering in Onion Raised from Sets. *Scientia Horticulturae*. 2007;112(1):9–15. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.009>
18. Seredin T. M., Shumilina V. V., Agafonov A. F., Zharkova S. V., Suzan V. G., Motov V. M. et al. Cultivation of shallots in the Non-Chernozem region and in the south of Western Siberia. Omsk: *OOO «Izdatel'skiy tsentr KAN»*, 2019. 44 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38515829>

Сведения об авторах

✉ **Мотов Виктор Михайлович**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией селекции овощных культур, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9278-1462>, e-mail: v-motov@list.ru

Мотова Маргарита Викторовна, кандидат биол. наук, научный сотрудник лаборатории селекции овощных культур, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1403-5912>

Скопин Павел Михайлович, младший научный сотрудник лаборатории селекции овощных культур, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1935-125X>

Устюжанин Игорь Александрович, кандидат с.-х. наук, директор, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3617-7129>

Середин Тимофей Михайлович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции луковых культур, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», ул. Селекционная, д. 14, п. ВНИИССОК, Одинцовский район, Московская область, Российская Федерация, 143072, e-mail: priemnaya@vniissok.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9999-023X>

Information about authors

✉ **Victor M. Motov**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Vegetable Breeding, 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:** <https://orcid.org/0000-0001-9278-1462>, e-mail: v-motov@list.ru

Margarita V. Motova, PhD in Biology, researcher, the Laboratory of Vegetable Breeding, 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:** <https://orcid.org/0000-0002-1403-5912>

Pavel M. Skopin, junior researcher, the Laboratory of Vegetable Breeding, 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:** <https://orcid.org/0000-0003-1935-125X>

Igor A. Ustiuzhanin, PhD in Agricultural Science, Director, 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:** <https://orcid.org/0000-0002-3617-7129>

Timofey M. Seredin, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Onion Breeding, Federal Scientific Center for Vegetable Growing, 14, Selektsionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russian Federation, 143072, e-mail: priemnaya@vniissok.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9999-023X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1298-1308>

УДК 633.111:632.485.12

Поиск доноров *Stb*-генов устойчивости к септориозу среди коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы© 2025. А. В. Харина¹✉, Н. В. Новоселова¹, Е. В. Пахолкова²¹ ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация,² ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», Московская область, Российская Федерация

*Септориоз – одна из распространенных и вредоносных болезней яровой пшеницы, вызывающая снижение урожая на 35–50 %. Для успеха селекции на резистентность к этой болезни необходим устойчивый исходный материал с молекулярно-генетически идентифицированными *Stb*-генами. Цель исследований – провести поиск сортов-доноров этих генов и источников устойчивости яровой мягкой пшеницы к возбудителю септориоза *Zymoseptoria tritici*. Изучали 146 сортов яровой мягкой пшеницы из мировой коллекции ВИР с помощью молекулярно-генетических методов на содержание генов *Stb2*, *Stb9*, *Stb11* и *Stb13*, а также устойчивость к заражению распространенными штаммами возбудителя болезни. С помощью ПЦР искомые гены были идентифицированы у 57,7 % изученных сортов. Встречаемость генов *Stb2*, *Stb9*, *Stb11* и *Stb13* в изученных генотипах составила 14,3; 55,9; 67,9 и 79,8 % соответственно. Все четыре гена идентифицированы у сортов *Тепсей* и *Eminent*. В результате лабораторной оценки сортов-доноров при искусственном заражении выделено 4 высокоустойчивых (Кинельская Юбилейная, Ингала (Россия), Веста (Беларусь), Ниа Май 10 (Китай)) и 11 устойчивых сортов с замедленным развитием болезни (Экада 70, Уральская Кукушка, Памяти Юдина, Хуторянка, Ульяновская 105, Красноярская 12, Волошинка, Лада (Россия), Dai Chun 2, Yanzhan №1, Long Chun 8 (Китай)). Можно предположить, что ген *Stb13* играет определенную роль в формировании устойчивости яровой пшеницы против использованных для заражения штаммов. Достоверная прибавка урожая с 1 м² к стандарту Баженка отмечена у сортов Ингала, Веста, Экада 70 и Ульяновская 105. Эти коллекционные образцы яровой мягкой пшеницы могут быть вовлечены в селекционный процесс как высокопродуктивные доноры идентифицированных *Stb*-генов.*

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., *Zymoseptoria tritici*, гены резистентности, степень поражения**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого» (тема №FNWE-2025-0001).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.**Для цитирования:** Харина А. В., Новоселова Н. В., Пахолкова Е. В. Поиск доноров *Stb*-генов устойчивости к септориозу среди коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1298–1308. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1298-1308>

Поступила: 26.05.2025

Принята к публикации: 21.10.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Search for donors of *Stb* genes for resistance to septoria among collection samples of spring soft wheat© 2025. Anastasia V. Kharina¹✉, Nina V. Novoselova¹, Elena V. Pakholkova²¹Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation,²All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology, Moscow region, Russian Federation

*Septoria tritici blotch is one of the most common and harmful diseases of spring wheat, causing a decrease in yield by 35–50 %. For successful breeding for resistance to this disease, stable source material with molecular and genetically identified *Stb* genes is needed. The purpose of the research is to search for donor varieties of these genes and sources of resistance of spring soft wheat to the causative agent of septoria *Zymoseptoria tritici*. There were analyzed 146 cultivars of spring soft wheat from the world's VIR collection using molecular genetic methods for the content of the *Stb2*, *Stb9*, *Stb11* and *Stb13* genes, as well as for resistance to infection with common strains of the causative agent of the disease. Using PCR, the desired genes were identified in 57.7 % of the studied cultivars. The occurrence of *Stb2*, *Stb9*, *Stb11*, and *Stb13* genes in the studied genotypes was 14.3 %, 55.9, 67.9 and 79.8 % respectively. All four genes have been identified in the ‘Tepsey’ and ‘Eminent’ cultivars. As a result of laboratory evaluation of donor varieties with artificial infection, 4 highly resistant cultivars were identified (‘Kinelskaya Yubileynaya’, ‘Ingala’ (Russia), ‘Vesta’ (Belarus), ‘Hua Mai 10’ (China)) and 11 resistant cultivars*

with delayed disease development ('Ekada 70', 'Uralskaya Kukushka', 'Pamyaty of Yudin', 'Khutoryanka', 'Ulianovskaya 105', 'Krasnoyarskaya 12', 'Voloshinka', 'Lada' (Russia), 'Dai Chun 2', 'Yanzhan No. 1', 'Long Chun 8' (China)). It can be assumed that the *Stb13* gene plays a certain role in the formation of resistance of spring wheat against the strains used for infection. A significant increase in yield from 1 m² to the standard 'Bazhenka' cultivar was noted in 'Ingala', 'Vesta', 'Ekada 70' and 'Ulianovskaya 105' cultivars. These collection samples of spring soft wheat can be involved in the breeding process as highly productive donors of the identified *Stb* genes.

Keywords: *Triticum aestivum* L., *Zymoseptoria tritici*, resistance genes, degree of damage

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 (topic No. FNWE-2025-0001).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert assessment of this work.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interests.

For citation: Kharina A. V., Novoselova N. V., Pakholkova E. V. Search for donors of *Stb* genes for resistance to septoria among collection samples of spring soft wheat. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1298–1308. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1298-1308>

Received: 26.05.2025

Accepted for publication: 21.10.2025

Published online: 26.12.2025

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) является основной продовольственной культурой в Российской Федерации. Согласно данным Росстата, в 2024 г. сборы пшеницы в РФ составили 82419,3 тыс. тонн, что на 11,2 % меньше, чем в предыдущем. Это произошло как за счет уменьшения площади посева, так и снижения урожайности (на 7,9 %) ¹, которая во многом определяется погодными условиями периода вегетации в регионах возделывания. Однако вредоносность патогенов, повреждающих растения, также существенно влияет на уровень урожайности культуры. Снижение урожая пшеницы от болезней во многом зависит от сортовых особенностей и погодных условий в период вегетации [1].

Одной из распространенных и вредоносных болезней яровой пшеницы является септориоз, вызванный анаморфными, несовершенными грибами рода *Zymoseptoria*. Наиболее распространенный вид *Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvl. et Crous поражает листовую поверхность растений [2, 3]. Потери урожая от этой болезни составляют 15–30 % и при эпифитотиях достигают 35–50 % [4]. Кроме того, снижается содержание белка, клейковины и ухудшается всхожесть семян [5].

В настоящее время молекулярно-генетически идентифицирован и описан 21 ген устойчивости к септориозной пятнистости листьев STB (*Septoria tritici blotch*), используемых в селекции. В генотипе большинства изученных в Великобритании и континентальной Европе сортов встречается ген *Stb6*, снижающий симптомы поражения растений

в полевых условиях. С устойчивостью растений в стадии проростков связан ген *Stb15*, распространенный в европейских сортах, а также *Stb18* и *Stb19*. Устойчивость некоторых сортов пшеницы в США продолжительное время обеспечивают гены *Stb1* и *Stb4* [6].

На территории регионов России, где используется целенаправленная селекция на иммунитет к возбудителю листовой септориозной пятнистости – *Z. Tritici*, с высокой частотой встречаются гены вирулентности *Stb1*, *Stb5* и *Stb7*, эффективными являются *Stb2*, *Stb3* и *Stb4*. Против изолятов из Центрально-Черноземного района эффективностью обладали гены *Stb1*, *Stb4*, *Stb5* и *Stb7*, менее результативны – *Stb2* и *Stb3* [2]. В полевых условиях резистентность к STB обычно проявляется как количественный признак, контролируемый олиго- или полигенной системой. Для создания сортов, сохраняющих устойчивость продолжительное время, необходимо сочетание в селекционном материале нескольких наиболее эффективных генов (пирамидирование) [7].

Успех селекции в создании устойчивых к септориозу сортов зависит от выбора исходного материала. Поиск новых источников и доноров устойчивости возможен среди ресурсов мирового генофонда и образцов из различных генетических коллекций [8].

Цель исследований – поиск доноров *Stb*-генов и источников устойчивости среди коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы.

¹Федеральная служба государственной статистики (Росстат) [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 16.04.2025).

Научная новизна – определение влияния молекулярно-генетически идентифицированных генов устойчивости к септориозу листьев в генотипах коллекционных сортов яровой мягкой пшеницы на резистентность к штаммам *Z. tritici* из коллекции Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (ВНИИФ).

Материал и методы. Объектом исследований служили 146 сортов яровой мягкой пшеницы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (г. Санкт-Петербург), изученные по хозяйственно ценным признакам в лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы Федерального аграрно-научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого (г. Киров) в 2022–2024 гг. Исходя из имеющейся материально-технической базы, для молекулярно-генетической

идентификации были выбраны гены: *Stb2* возрастной устойчивости; *Stb9*, *Stb11* и *Stb13*, связанные с устойчивостью проростков.

ДНК выделены из 5-дневных проростков методом СТАВ [9]. Для идентификации *Stb*-генов использовали SSR-маркеры, взятые из базы данных GrainGenes². В качестве положительного контроля служили сорта: Epos (*Stb2*), Tonic (*Stb9*), Терция (*Stb11*) и Ble seigle (*Stb13*) [10].

Для определения наличия гена возрастной устойчивости к септориозу *Stb2* использовали маркеры Xgwm389 и Xgwm533, для идентификации генов *Stb11* и *Stb13* – маркеры Xbarc008 и Xwmc396 соответственно [10].

С целью поиска маркера Xwmc317, связанного с геном *Stb9*, идентифицировали ампликон размером 139 пар нуклеотидов (табл. 1).

Таблица 1 – SSR-маркеры, использованные для выявления *Stb*-генов / Table 1 – SSR markers used to identify *Stb*-genes

Ген / Gene	Маркер / Marker	Праймеры, нуклеотидная последовательность (5'-3') / Primer, nucleotide sequence (5'-3')	Источник / Source	Программа для амплификации / Program for amplification
<i>Stb2</i>	Xgwm389	F: ATCATGTCGATCTCCTTGACG R: TGCCATGCACATTAGCAGAT	[11]	I – 95 °C – 5 мин; II – 35 циклов: 95 °C – 30 с, 72 °C – 2 мин; III – 72 °C – 10 мин / I – 95 °C – 5 min; II – 35 cycles: 95 °C – 30 s, 72 °C – 2 min; III – 72 °C – 10 min
	Xgwm533	F: AAGGCGAATCAAACGGAATA R: GTTGCTTTAGGGGAAAGCC		I – 94 °C – 3 мин; II – 45 циклов: 94 °C – 1 мин, 60 °C – 1 мин, 72 °C – 2 мин; III – 72 °C – 10 мин / I – 94 °C – 3 min; II – 45 cycles: 94 °C – 1 min, 60 °C – 1 min, 72 °C – 2 min; III – 72 °C – 10 min
<i>Stb9</i>	Xwmc317	F: TGCTAGCAATGCTCCGGGTAAC R: TCACGAAACCTTTTCCTCCTCC	[12]	I – 95 °C – 5 мин; II – 35 циклов: 95 °C – 1 мин, 65 °C – 50 с, 72 °C – 1 мин; III – 72 °C – 7 мин / I – 95 °C – 5 min; II – 35 cycles: 95 °C – 1 min, 65 °C – 50 s, 72 °C – 1 min; III – 72 °C – 7 min
<i>Stb11</i>	Xbarc008	F: GCGGGAATCATGCATAGGAAAACAGAA R: GCGGGGGCGAAACATACATAAAAAACA	[12]	I – 95 °C – 3 мин; II – 35 циклов: 95 °C – 45 с, 61 °C – 45 с, 72 °C – 45 с; III – 72 °C – 10 мин / I – 95 °C – 3 min; II – 35 cycles: 95 °C – 45 s, 61 °C – 45 s; III – 72 °C – 10 min
<i>Stb13</i>	Xwmc396	F: TGCACGTGTTTACCTTCACGGGA R: CAAAGCAAGAACCAGAGCCACT	[13]	I – 95 °C – 2 мин; II – 35 циклов: 95 °C – 1 мин, 61 °C – 50 с, 72 °C – 1 мин; III – 72 °C – 5 мин / I – 95 °C – 2 min; II – 35 cycles: 95 °C – 1 min; 61 °C – 50 s, 72 °C – 1 min; III – 72 °C – 5 min

²GrainGenes. A database for Triticeae and Avena. Albany, CA, 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://wheat.pw.usda.gov> (дата обращения: 12.01.2022).

Состав реакционной смеси на 10 мкл: ДНК – 2 мкл (50 нг), 10 х ПЦР-буфер – 1 мкл («СибЭнзим», Россия); смесь dNTPs (4mM) – 0,5 мкл («СибЭнзим», Россия); по 1 мкл прямого и обратного праймера 10pM (Синтол, Россия); Taq-полимераза – 3,75 ед/мкл («СибЭнзим», Россия); 3,75 мкл – ddH₂O. В буфер вносили MgCl₂ (1,5 mM).

ПЦР выполнены на амплификаторе ТП4-ПЦР-01-«Терцик» («НПО ДНК-технология», Россия). ПЦР-продукты были разделены в процессе вертикального электрофореза в полиакриламидном геле и окрашены бромистым этидием.

Результаты электрофореза документировали с помощью видеосистемы «Взгляд» и ПО IC Measure («Компания Хеликон», Россия). Размер амплифицированных фрагментов определяли с использованием 100bp+2Kb+3Kb ДНК-маркеров веса («СибЭнзим», Россия).

Оценку сортов по степени поражения септориозом проводили на отрезках листьев, используя методику Г. В. Пыжиковой [14]. Растения выращивали в камерах искусственного климата до фазы полностью развернувшегося 3-го листа. Отрезки листовой пластинки длиной 10 см раскладывали в поддоны на фильтровальную бумагу, закрывая срезы ватой, смоченной раствором бензимидазола (0,4 г/л). Для заражения использовали смесь 5 штаммов *Z. tritici* (НН 2-2, НН 4-1, НН 4-4, НН 4-5 и НН 4-7) различной степени патогенности, выделенных с пораженных растений озимой пшеницы сорта Скипетр в Нижегородской области. Штаммы возбудителя получены из Государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов, созданной на базе ФГБНУ ВНИИ фитопатологии. Суспензию спор в кон-

центрации 10⁷ наносили на отрезки листьев пшеницы. Повторность 10-кратная.

По степени поражения септориозом образцы классифицировали на следующие группы:

RR – очень высокая и высокая устойчивость (поражение от 0 до 5,0 %);

R – устойчивость (от 6,0 до 15,0 %);

M – умеренная восприимчивость (от 16,0 до 25,0 %);

S – восприимчивость (от 26,0 до 65,0 %);

SS – высокая и очень высокая восприимчивость (от 66,0 до 100 %) [15].

Оценку проводили в динамике через каждые 5 дней до полной гибели образцов.

Для оценки скорости развития инфекции на листовой пластинке рассчитывали показатель ИУ (индекс устойчивости) как соотношение площади под кривой развития болезни (ПКРБ) у изучаемого сорта и восприимчивого контроля (сорт Баженка). Особый интерес представляют сорта с замедленным развитием болезни, то есть с высоким (0,10–0,35) и средним (0,36–0,65) ИУ [16].

Хозяйственно полезные признаки образцов яровой мягкой пшеницы изучали в естественных полевых условиях в 2022–2024 гг. в двукратной повторности на делянках площадью 1,0 м².

Полученные данные обрабатывали методом вариационной статистики с использованием пакета программы Agros 2.07.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследований изучено 146 сортов яровой мягкой пшеницы на наличие генов *Stb2*, *Stb9*, *Stb11* и *Stb13*. Среди изученных сортов *Stb*-гены при встречаемости 57,5 % идентифицированы у 84 (табл. 2).

Таблица 2 – Сорта яровой мягкой пшеницы с *Stb*-генами /
Table 2 – Spring soft wheat cultivars with *Stb* genes

Ген / Gene	Сорт / Cultivar	Степень поражения, % / Degree of damage, %
1	2	3
<i>Stb2</i>	Sable, Bowie, Tercie, Diamant, Nova Prata, №1 мутант остистый, Агата, Бисерт, Юлия, Мерцана / 'Sable', 'Bowie', 'Tercie', 'Diamant', 'Nova Prata', №1 mutant ostisty, 'Agata', 'Bisert', 'Yuliya', 'Mertsana'	29,0...84,0
<i>Stb9</i>	Диаблон, Tonic / 'Diablon', 'Tonic'	18,2; 22,0
<i>Stb11</i>	Алтайская Жница, Женис, Т9111, Sinton / 'Altayskaya Zhnitsa', 'Zhenis', T9111, 'Sinton'	19,0...78,0

1	2	3
<i>Stb13</i>	Оренбургская 22, Ингала, Кинельская Юбилейная, Сибирская 21, Памяти Юдина, Tian Xuan 16, Shen 68-71 / 'Orenburgskaya 22', 'Ingala', 'Kinelskaya Yubileynaya', 'Sibirskaya 21', 'Pamyati Yudina', 'Tian Xuan 16', 'Shen 68-71'	0,09...42,0
<i>Stb2, 9, 11, 13</i>	Тепсей, Eminent / 'Tepsey', 'Eminent'	40,0; 74,0
<i>Stb9, 11, 13</i>	Сибирский Альянс, Красноуфимская 100, Икар, Памяти Леонтьева, Омская 41, Екатерина, Тулайковская 10, Тюменская 30, Воронежская 18, Экада 70, Тобольская, Ульяновская 101, Злата, Московская 35, Курская 2038, Альмата, Черноземоуральская 2, Dian 662-525-2, Hong Mai 5, BL 1530, Liao Chun 6, Korinta, Naxos, Yun Mai 27, Bonpain, Hua Mai 10, Mao Ying A Fu, Qing Chun 25, Combination X, W 3534, KWS Torridon, Dai Chun 2, Long Chun 8, Yanzhan №1 / 'Sibirskiy Alyans', 'Krasnoufimskaya 100', 'Ikar', 'Pamyati Leontyeva', 'Omskaya 41', 'Ekaterina', 'Tulaykovskaya 10', 'Tyumenskaya 30', 'Voronezhskaya 18', 'Ekada 70', 'Tobolskaya', 'Ulyanovskaya 101', 'Zlata', 'Moskovskaya 35', 'Kurskaya 2038', 'Almata', 'Chernozemouralskaya 2', 'Dian 662-525-2', 'Hong Mai 5', 'BL 1530', 'Liao Chun 6', 'Korinta', 'Naxos', 'Yun Mai 27', 'Bonpain', 'Hua Mai 10', 'Mao Ying A Fu', 'Qing Chun 25', 'Combination X', 'W 3534', 'KWS Torridon', 'Dai Chun 2', 'Long Chun 8', 'Yanzhan №1'	4,0...86,0
<i>Stb11, 13</i>	Уралосибирская, Бурятская 551, Хуторянка, Ульяновская 105, Воронежская 20, Дуэт, Добрыня, Красноярская 12, Сигма, Курагинская 2, Зауралочка, Рима, Канюк, Da 742, Mellisos, Yun Mai 35 / 'Uralosibirskaya', 'Buryatskaya 551', 'Hutoryanka', 'Ulyanovskaya 105', 'Voronezhskaya 20', 'Duet', 'Dobrynya', 'Krasnoyarskaya 12', 'Sigma', 'Kuraginskaya 2', 'Zauralochka', 'Rima', 'Kanyuk', 'Da 742', 'Mellisos', 'Yun Mai 35'	11,0...90,0
<i>Stb9, 13</i>	Амир, Тюменская 29, Кинельская 2010, Уральская Кукушка, Волошинка, Чайка, Веста, Лада / 'Amir', 'Tyumenskaya 29', 'Kinelskaya 2010', 'Uralskaya Kukushka', 'Voloshinka', 'Chayka', 'Vesta', 'Lada'	2,0...78,0
<i>Stb9, 11</i>	Экада 109 / 'Ekada 109'	34,0

Ген *Stb2* идентифицирован у 14,3 % образцов (рис. 1).

Распространенность в генотипах изученного коллекционного материала яровой пшеницы генов *Stb9*, *Stb11* и *Stb13* составила 55,9; 67,9 и 79,8 % соответственно. Электро-

фореграммы поиска некоторых образцов представлены на рисунках 2, 3 и 4. Сочетание всех четырех генов отмечено у сортов Тепсей и Eminent. Наиболее часто (у 40,5 % сортов) в генотипах совместно встречались гены *Stb9*, *Stb11* и *Stb13*.

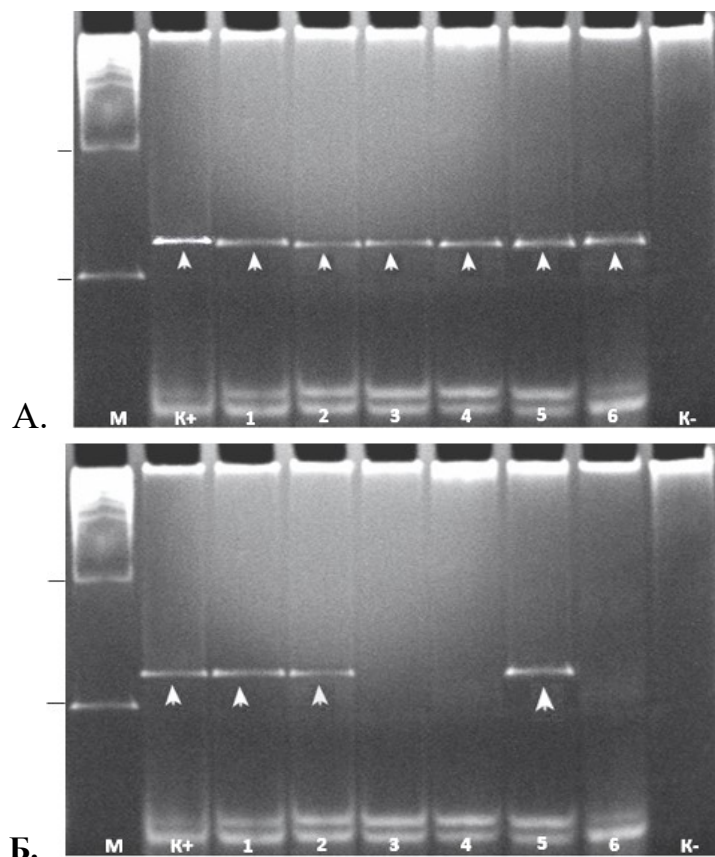


Рис 1. Гель-электрофорез продуктов амплификации с праймерами к маркеру Xgwm 389 (*Stb2*) в 8% полиакриламидном геле (ПААГ) – А: 1 – ‘Sable’; 2 – ‘Agata’; 3 – ‘Bowie’; 4 – ‘Бисерт’; 5 – ‘Tercie’; 6 – ‘Юлия’; Б: 1 – №1 Мутант остистый; 2 – ‘Diamant’; 3 – ‘Злата’; 4 – ‘Лада’; 5 – ‘Мерцана’; 6 – ‘Веста’; K+ – положительный контроль (сорт Epos); K- – отрицательный контроль; M – маркер молекулярного веса (размер бэндов снизу вверх: 100, 200 п. н.). Стрелкой обозначен целевой ампликон (120 п. н.) /

Fig. 1. Gel electrophoresis of amplification products with primers for the Xgwm 389 (*Stb2*) marker in 8% polyacrylamide gel (PAAG) – A: 1 – ‘Sable’; 2 – ‘Agata’; 3 – ‘Bowie’; 4 – ‘Bisert’; 5 – ‘Tercie’; 6 – ‘Julia’; B: 1 – No. 1 Mutant Ostisty; 2 – ‘Diamant’; 3 – ‘Zlata’; 4 – ‘Lada’; 5 – ‘Merzana’; 6 – ‘Vesta’; K+ – positive control (cultivar ‘Epos’); K- – negative control; M – molecular weight marker (band size from bottom to top: 100, 200 p. n.). The arrow indicates the target amplicon (120 p. n.)

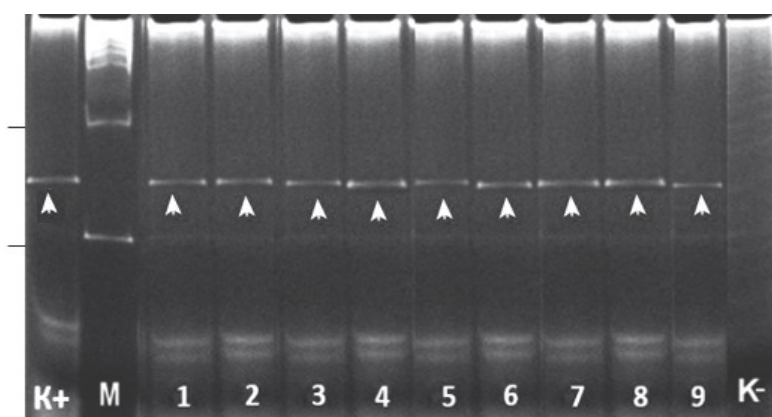


Рис 2. Гель-электрофорез продуктов амплификации с праймерами к маркеру Xwmc 317 (*Stb9*) в 8% ПААГ: 1 – ‘Diablon’; 2 – ‘Тепсей’; 3 – ‘Амир’; 4 – ‘Икар’, 5 – ‘Уральская Кужушка’; 6 – ‘Курская 2038’; 7 – ‘Eminent’; 8 – ‘Dai Chun 2’; 9 – ‘Yanzhan №1’; K+ – положительный контроль (сорт Tonic); K- – отрицательный контроль; M – маркер молекулярного веса (размер бэндов снизу вверх: 100, 200 п. н.). Стрелкой обозначен целевой ампликон (139 п. н.) /

Fig. 2. Gel electrophoresis of amplification products with primers for the Xwmc 317 (*Stb9*) marker in 8% PAAG: 1 – ‘Diablon’; 2 – ‘Tepsey’; 3 – ‘Amir’; 4 – ‘Ikar’, 5 – ‘Uralskaya Kukushka’; 6 – ‘Kurskaya 2038’; 7 – ‘Eminent’; 8 – ‘Dai Chun 2’; 9 – ‘Yanzhan No.1’; K+ – positive control (cultivar ‘Tonic’); K- – negative control; M – molecular weight marker (band size from bottom to top: 100, 200 p. n.). The arrow indicates the target amplicon (139 p. n.)

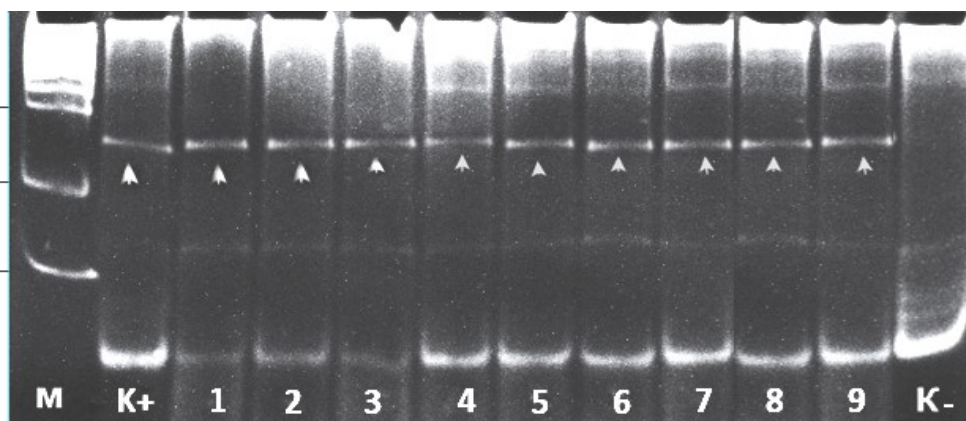


Рис. 3. Гель-электрофорез продуктов амплификации с праймерами к маркеру Xbarc 008 (*Stb11*) в 7% ПААГ: 1 – Алтайская Жница; 2 – Красноярская 12; 3 – Екатерина; 4 – Дуэт, 5 – Sinton; 6 – Женис; 7 – T9111; 8 – Naxos; 9 – Mao Ying A Fu; K+ – положительный контроль (сорт Терция); K- – отрицательный контроль; M – маркер молекулярного веса (размер бэндов снизу вверх: 100, 200, 300 п. н.). Стрелками обозначен целевой ампликон (245 п. н.) /

Fig. 3. Gel electrophoresis of amplification products with primers for the marker Xbarc 008 (*Stb11*) in 7% PAAG: 1 – ‘Altayskaya Zhnitca’; 2 – ‘Krasnoyarskaya 12’; 3 – ‘Ekaterina’; 4 – ‘Duet’; 5 – ‘Sinton’; 6 – ‘Zhenis’; 7 – T9111; 8 – ‘Naxos’; 9 – ‘Mao Ying A Fu’; K+ – positive control (cultivar ‘Terciya’); K- – negative control; M – molecular weight marker (band size from bottom to top: 100, 200 p. n.). The arrows indicate the target amplicons (245 p. n.)

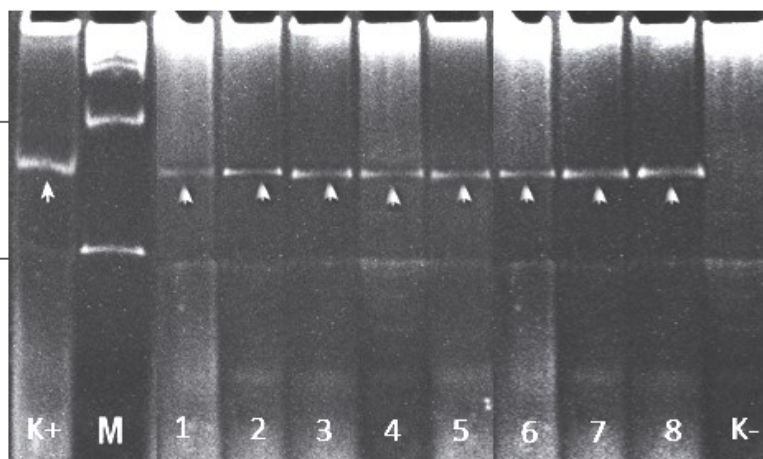


Рис. 4. Гель-электрофорез продуктов амплификации с праймерами к маркеру Xwmc 396 (*Stb13*) в 8% ПААГ: 1 – Оренбургская 22; 2 – Ингала; 3 – Кинельская Юбилейная; 4 – Сибирская 21, 5 – Памяти Юдина; 6 – Рима; 7 – Tian Xuan 16; 8 – Shen 68-71; K+ – положительный контроль (сорт Ble seigle); K- – отрицательный контроль; M – маркер молекулярного веса (размер бэндов снизу вверх: 100, 200 п. н.). Стрелкой обозначен целевой ампликон (146 п. н.) /

Fig. 4. Gel electrophoresis of amplification products with primers for marker Xwmc 396 (*Stb13*) in 8% PAAG: 1 – ‘Orenburgskaya 22’; 2 – ‘Ingala’; 3 – ‘Kinelskaya Yubileynaya’; 4 – ‘Sibirskaya 21’; 5 – ‘Pamyati Yudina’; 6 – ‘Rima’; 7 – ‘Tian Xuan 16’; 8 – ‘Shen 68-71’; K+ – positive control (cultivar ‘Ble seigle’); K- – negative control; M – molecular weight marker (band size from bottom to top: 100, 200 p. n.). The arrow indicates the target amplicon (146 p. n.)

В лабораторных условиях заражали только сорта с идентифицированными генами устойчивости к септориозу. В результате оценки сортов в лаборатории при заражении отрезков листьев смесью штаммов *Z. tritici* средняя степень поражения составила 43,5%. Выделено 4 высокоустойчивых (степень поражения не более 5,0%) образца: Кинельская Юбилейная,

Ингала, Веста, Ниа Май 10. Устойчивостью характеризовались сорта: Экада 70, Уральская Кукушка, Памяти Юдина, Хуторянка, Ульяновская 105, Красноярская 12, Волошинка, Лада, Dai Chun 2, Yanzhan №1, Long Chun 8, степень поражения листа у которых не превысила 15,0% (табл. 3).

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT PROTECTION

Таблица 3 – Коллекционные образцы яровой мягкой пшеницы, выделенные по степени поражения септориозом листьев (среднее за 2022–2024 гг.) /

Table 3 – Collection samples of spring wheat, isolated by the degree of damage of leaf septoria (average for 2022–2024)

<i>Сорт / Cultivar</i>	<i>Stb</i>	<i>Номер каталога ВИР / VIR catalog number</i>	<i>Страна происхождения / Country of origin</i>	<i>Степень поражения, % / Degree of damage, %</i>	<i>ИУ*/ SI</i>	<i>Масса зерна с 1 м², г / Grain weight per 1 m², g</i>
Баженка – стандарт / ‘Bazhenka’ – st.	-	64780	Россия / Russia	54,0	0,76	373
Кинельская Юбилейная / ‘Kinel'skaya Yubileynaya’	13	66270	-"	0,4	0,01	486
Ингала / ‘Ingala’	13	66420	-"	2,0	0,15	547
Веста / ‘Vesta’	9, 13	64491	-"	2,0	0,04	537
Экада 70 / ‘Ekada 70’	9, 11, 13	64547	-"	8,8	0,06	518
Уральская Кукушка / ‘Uralskaya Kukushka’	9, 13	66276	-"	11,4	0,13	411
Памяти Юдина / ‘Pamyati Yudina’	13	65243	-"	10,0	0,09	354
Хуторянка / ‘Khutoryanka’	11, 13	65845	-"	13,0	0,12	396
Ульяновская 105 / ‘Ulyanovskaya 105’	11, 13	66011	-"	13,0	0,12	604
Красноярская 12 / ‘Krasnoyarskaya 12’	11, 13	65562	-"	11,0	0,10	253
Волошинка / ‘Voloshinka’	9, 13	66437	-"	12,0	0,16	466
Лада / ‘Lada’	9, 13	59389	Беларусь / Belarus	12,0	0,23	385
Dai Chun 2	9, 11, 13	65848	Китай / China	8,5	0,17	270
Yanzhan №1	9, 11, 13	65890	-"	15,0	0,18	291
Long Chun 8	9, 11, 13	65881	-"	10,4	0,22	283
Hua Mai 10	9, 11, 13	65865	-"	4,0	0,01	270
Среднее по опыту / Average over the experiment				43,5	0,45	279
HCP ₀₅ / LSD ₀₅				18,1	-	118,2

* ИУ – индекс устойчивости / SI – sustainability index

Максимальная доля устойчивых сортов (50,0 %) отмечена в группе образцов с идентифицированными генами *Stb9* и *Stb13*. Также высокая доля устойчивых сортов (42,9 %) обнаружена в группе образцов с геном *Stb13*. Таким образом, все сорта с устойчивостью разной степени содержали в своем генотипе *Stb13* ген, что может свидетельствовать о его эффективности против изученных штаммов *Z. tritici* в фазу проростков.

Средневосприимчивые сорта (степень поражения от 16,0 до 25,0 %) составляли 19,0 %

от всего изученного материала. Больше всего образцов яровой пшеницы изученного генофонда (44,0 %) характеризовались как восприимчивые со степенью поражения листа от 26,0 до 65,0 %. К высоковосприимчивым (от 66,0 до 90,0 %) отнесены 19,1 % изученных коллекционных образцов.

Площадь инфекционного пятна в среднем по изученным образцам составила 13,5 мм², варьируя от 1,5 у сорта Уральская Кукушка до 47,5 – Tercie. У всех устойчивых и средневосприимчивых сортов площадь пятна не превы-

шала 20,0 мм². У китайского сорта Hua Mai 10 пятна отсутствовали, наблюдали небольшой хлороз листовой пластинки, что свидетельствует о частичной устойчивости. В генотипе данного сорта идентифицированы гены ювенильной устойчивости *Stb9*, *Stb11* и *Stb13*.

Для характеристики степени нарастания инфекции использовали показатель индекса устойчивости (ИУ), который в среднем по сортам составил 0,45. Наибольший интерес для селекции представляют сорта (табл. 3), характеризующиеся замедленным развитием болезни (ИУ – не более 0,35) и степенью поражения не выше 16,0 %.

Важное значение для селекции имеет уровень урожайности изученных сортов, которая в среднем по опыту с 1 м² составила 279,0 г. Достоверная прибавка урожайности к стандарту отмечена у сортов Ингала (174 г/м²), Веста (164 г/м²), Экада 70 (145 г/м²) и Ульяновская 105 (231 г/м²). У сортов Уральская Кукушка, Хуторянка, Волошинка и Лада отмечено несущественное превышение по урожайности стандартного сорта Баженка на 12–93 г/м².

Заключение. Среди изученного коллекционного материала яровой мягкой пшеницы у 57,7 % сортов с помощью ПЦР идентифицированы гены устойчивости к септориозу: *Stb2*, *Stb9*, *Stb11* и *Stb13*.

Ген *Stb13* наиболее часто встречается в генотипах, устойчивых к использованному для заражения штаммам *Z. tritici*.

В результате лабораторной оценки при искусственном заражении выделено 4 высокоустойчивых (Кинельская Юбилейная, Ингала (Россия), Веста (Беларусь), Hua Mai 10 (Китай)) и 11 устойчивых (Экада 70, Уральская Кукушка, Памяти Юдина, Хуторянка, Ульяновская 105, Красноярская 12, Волошинка, Лада (Россия), Dai Chun 2, Yanzhan №1, Long Chun 8 (Китай)) сортов с замедленным развитием болезни, 8 (Ингала, Веста, Экада 70, Ульяновская 105, Уральская Кукушка, Хуторянка, Волошинка, Лада) из которых показали прибавку урожайности с 1 м² к стандартному сорту. Эти образцы яровой мягкой пшеницы могут быть вовлечены в селекционный процесс как доноры идентифицированных *Stb*-генов, а также как перспективные сорта для сельскохозяйственного производства в Кировской области.

Список литературы

1. Крупенько Н. А. Влияние гидротермических условий на развитие септориоза листьев озимой пшеницы. Защита растений. 2018;(42):109–115. Режим доступа: <https://plants.belal.by/jour/article/view/119> EDN: HKRGBG
2. Пахолкова Е. В., Сальникова Н. Н., Куркова Н. А. Генетическая структура региональных популяций *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) – возбудителя септориоза пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Сельскохозяйственная биология. 2016;51(5):722–730. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.722rus> EDN: WZJQMF
3. Зеленева Ю. В., Конькова Е. А. Сорта мягкой пшеницы, возделываемые в Саратовской области и их устойчивость к септориозной пятнистости. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023;27(6):582–590. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-70> EDN: PJPYLM
4. Patial M., Navathe S., He X., Kamble U., Kumar M., Joshi A. K., Singh P. K. Novel resistance loci for quantitative resistance to *Septoria tritici* blotch in Asian wheat (*Triticum aestivum*) via genome-wide association study. BMC Plant Biology. 2024;24(1):846. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05547-x>
5. Лукманова А. А., Кадырова Ф. З. Оценка устойчивости сортов яровой мягкой пшеницы к септориозу листьев и эффективность защиты растений от патогенов в условиях предкамской зоны Республики Татарстан. Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2023;(3(7)):18–24. DOI: <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-18-24> EDN: ORINQR
6. Бакулина А. В., Харина А. В., Широких И. Г. Септориоз листьев и колоса пшеницы: генетический контроль устойчивости хозяина (обзор). Теоретическая и прикладная экология. 2020;(2):26–35. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-2-026-035> EDN: TELANX
7. Харина А. В., Савинцева Л. С. Применение методов MAC в селекции пшеницы на устойчивость к септориозу. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024;54(4):94–103. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-4-11> EDN: MMFGWS
8. Коломиец Т. М., Пахолкова Е. В., Сальникова Н. Н., Панкратова Л. Ф., Моргунов А. И., Шаманин В. П. Отбор устойчивых к септориозу сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) из Международного питомника КАСИБ 20. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2023;(2(50)):33–47. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54112560> EDN: RVFWWL
9. Murray M. G., Thompson W. F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. Nucleic acids research. 1980;8(19):4321–4325. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/8.19.4321>

10. Новоселова Н. В., Харина А. В., Бессолицына Е. А., Савинцева Л. С. Скрининг Stb генов устойчивости к септориозу у сортов мягкой пшеницы. *Зерновое хозяйство России*. 2023;15(2):57–62. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-85-2-57-62> EDN: PXSFRG
11. Mekonnen T., Haileselassie T., Kaul T., Sharma M., Geleta B., Tesfaye K. Molecular screening of *Zymoseptoria tritici* resistance genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) using tightly linked simple sequence repeat markers. *European Journal of Plant Pathology*. 2019;155(2):593–614. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01795-y>
12. Somers D. J., Isaac P., Edwards K. A high-density microsatellite consensus map for bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and applied genetics*. 2004;109:1105–1114. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1740-7>
13. Rogers S. O., Bendich A.J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues. *Plant Molecular Biology*. 1985;5:69–76. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF0002008>
14. Пыжикова Г. В., Карасева Е. В. Методика изучения возбудителей септориоза на изолированных листьях пшеницы. *Сельскохозяйственная биология*. 1986;21(12):112–114.
15. Коломиец Т. М., Пахолкова Е. В., Панкратова Л. Ф., Скатонок О. О. Роль генетических коллекций в селекции яровой пшеницы на иммунитет к септориозу. *Успехи современной науки*. 2017;2(9):130–137. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29905688> EDN: ZELBVR
16. Коломиец Т. М., Панкратова Л. Ф., Пахолкова Е. В. Сорты пшеницы (*Triticum* L.) из коллекции GRIN (США) для использования в селекции на длительную устойчивость к септориозу. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(3):561–569. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2017.3.561rus> EDN: YZKVJZ

References

1. Krupenko N. A. Influence of hydrothermal conditions on septoria leaf spot severity in winter wheat. *Zashchita rasteny* = Plant Protection. 2018;(42):109–115. (In Russ.). URL: <https://plants.belal.by/jour/article/view/119>
2. Pakholkova E. V., Salnikova N. N., Kurkova N. A. Genetic structure of regional populations of *Myco-sphaerella graminicola* (*Septoria tritici*), the septoria leaf blotch agent of whea. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2016;51(5):722–730. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.5.722rus>
3. Zeleneva Yu. V., Konkova E. A. Soft wheat cultivars grown in the saratov region and their resistance to septoria blotch. *Vavilovsky zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2023;27(6):582–590. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-70>
4. Patial M., Navathe S., He X., Kamble U., Kumar M., Joshi A. K., Singh P. K. Novel resistance loci for quantitative resistance to *Septoria tritici* blotch in Asian wheat (*Triticum aestivum*) via genome-wide association study. *BMC Plant Biology*. 2024;24(1):846. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05547-x>
5. Lukmanova A. A., Kadirova F. Z. Assessment of the resistance of spring common wheat varieties to septoria leaf blight and the effectiveness of protecting plants from pathogens in the conditions of the predkama zone of the Republic of Tatarstan. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2023;(3(7)):18–24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-18-24>
6. Bakulina A. V., Kharina A. V., Shirokikh I. G. *Septoria tritici* and stagonospora nodorum blotch of wheat: genetic control of host resistance (review). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2020;(2):26–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-2-026-035>
7. Kharina A. V., Savintseva L. S. Application of MAC methods in wheat breeding for resistance to *Septoria* blight. *Sibirsky vestnik selskokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2024;54(4):94–103. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-4-11>
8. Kolomiets T. M., Pakholkova E. V., Salnikova N. N., Pankratova L. F., Morgunov A. I., Shamanin V. P. Screening of septoria-resistant cultivars of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) from the international nursery KASIB 20. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2023;(2(50)):33–47. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54112560>
9. Murray M. G., Thompson W. F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic acids research*. 1980;8(19):4321–4325. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/8.19.4321>
10. Новоселова Н. В., Харина А. В., Бессолицына Е. А., Савинцева Л. С. Screening of Stb leaf blotch resistance genes of the common wheat varieties. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2023;15(2):57–62. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-85-2-57-62>
11. Mekonnen T., Haileselassie T., Kaul T., Sharma M., Geleta B., Tesfaye K. Molecular screening of *Zymoseptoria tritici* resistance genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) using tightly linked simple sequence repeat markers. *European Journal of Plant Pathology*. 2019;155(2):593–614. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01795-y>
12. Somers D. J., Isaac P., Edwards K. A high-density microsatellite consensus map for bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and applied genetics*. 2004;109:1105–1114. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1740-7>

13. Rogers S. O., Bendich A.J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues. *Plant Molecular Biology*. 1985;5:69–76. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00020088>

14. Pizhikova G. V., Karaseva E. V. Methodology for studying the causative agents of septoria on isolated wheat leaves. *Selskokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 1986;21(12):112–114. (In Russ.).

15. Kolomiets T. M., Pakholkova E. V., Pankratova L. F., Skatenok O. O. The role of genetic collections in the breeding of spring wheat for immunity to septoriosi. *Uspekhi sovremennoy nauki*. 2017;2(9):130–137. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29905688>

16. Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Pakholkova E. V. Wheat (*Triticum* L.) cultivars from grin collection (USA) selected for durable resistance to *Septoria tritici* and *Stagonospora nodorum* blotch. *Selskokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2017;52(3):561–569. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.561rus>

Сведения об авторах

✉ **Харина Анастасия Владимировна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0554-5814>, e-mail: Khavchas@yandex.ru

Новоселова Нина Владиславовна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166 а, Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0638-4258>

Пахолкова Елена Васильевна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела микологии и иммунитета, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», ул. Институт, вл. 5, р. п. Большие Вяземы, Одинцовский р-он, Московская область, Российская Федерация, 143050, e-mail: vniif@vniif.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8661-6572>

Information about the authors

✉ **Anastasia V. Kharina**, PhD in Agricultural Science, researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166-a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0554-5814>, e-mail: Khavchas@yandex.ru

Nina V. Novoselova, junior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166-a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0638-4258>

Elena V. Pakholkova, PhD in Biological Science, senior researcher, the Department of Mycology and Immunity, All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology, Institut str., 5, Bolshie Vyazemy village, Odintsovo district, Moscow region, Russian Federation, 143050, e-mail: vniif@vniif.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8661-6572>

✉ – Для контактов / Corresponding author

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ / AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1309-1319>
УДК 579.64:632.4



Изучение биоконтрольных свойств комплексов *Trichoderma atroviride* и diaзотрофов, оценка их экологической безопасности

© 2025. П. А. Стариков[✉], А. С. Олькова², Т. К. Шешегова³, Л. М. Щекленна³, П. Д. Степанов¹

¹ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация,

³ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Обеспечение производства качественной растениеводческой продукции определяет необходимость разработки новых экологически безопасных подходов в биологическом контроле распространения фитопатогенов. Цель работы – изучение биоконтрольных свойств монокультур и комплексов гриба *Trichoderma atroviride*, бактерий-диазотрофов *Fischerella muscicola* и *Azotobacter chroococcum* в отношении фитопатогена *Fusarium culmorum* P/3-16, оценить экологическую безопасность используемых штаммов-антагонистов. Впервые проведено исследование способности комплексов *T. atroviride* и diaзотрофов к биоконтролю в почве *F. culmorum* – основного возбудителя корневых гнилей зерновых культур. Модельный опыт по выявлению биоконтрольной активности штаммов проводили в микрокосмах с почвой, инокулированной исследуемыми микробными культурами. Спустя 45 суток инкубации, на поверхность почвы высевали яровую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) сорта Баженка, через 7 суток после посева оценивали показатели роста и степени развития инфекции у проростков. Установлено, что самым сильным биоконтрольным действием обладали комплексы *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola*, а также *T. atroviride* + *F. muscicola*, которые снижали развитие корневых гнилей в 4,12–4,97 раза относительно инфекционного фона без внесения антагонистов. Под действием триходермы и diaзотрофов на инфекционном фоне увеличивалась сухая масса проростков пшеницы на 72,9 % по сравнению с инокуляцией почвы монокультурой *F. culmorum* P/3-16. Подтверждена экологическая безопасность фильтратов жидких культур *T. atroviride* K-01П (разбавление 1:100), *F. muscicola* 300 (разбавление 1:10–1:100) для препарата Эколюм L. ракообразных *Daphnia magna*. Данные полевых исследований за 2022–2023 гг. свидетельствуют об отсутствии негативного влияния *T. atroviride* K-01П и *F. muscicola* 300 на аборигенных представителей микромицетов и аммонифицирующих бактерий в почве прикорневой зоны пшеницы. Результаты исследования расширяют традиционные представления о возможности применения грибов рода *Trichoderma* и diaзотрофов в биологическом контроле грибных фитопатогенов и определяют перспективу использования микробных комплексов на их основе в земледелии.

Ключевые слова: *Trichoderma*, *Fusarium*, *Fischerella*, *Azotobacter*, *Triticum aestivum* L., биоконтроль, антагонизм, биотестирование

Благодарности: работа выполнена 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: Стариков П. А., Олькова А. С., Шешегова Т. К., Щекленна Л. М., Степанов П. Д. Изучение биоконтрольных свойств комплексов микромицета *Trichoderma atroviride* и бактерий-азотфиксаторов, оценка их экологической безопасности. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1309–1319.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1309-1319>

Поступила: 23.09.2025

Принята к публикации: 28.11.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Study of biocontrol properties of *Trichoderma atroviride* and diazotroph complexes and assessment of their environmental safety

© 2025. Pavel A. Starikov¹✉, Anna S. Olkova², Tatyana K. Sheshegova³,
Lucia M. Shchekleina³, Pavel D. Stepanov¹

¹Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russian Federation,

²Vyatka State University, Kirov, Russian Federation,

³Federal Agrarian Scientific Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov,
Russian Federation

Ensuring the production of high-quality crops determines the need to develop new environmentally safe approaches in the biological control of the spread of phytopathogens. The aim of the work was to study the biocontrol properties of monocultures and complexes of the fungus *Trichoderma atroviride* and diazotrophic bacteria *Fischerella muscicola* and *Azotobacter chroococcum* in relation to the phytopathogen *Fusarium culmorum* R/z-16, to evaluate the environmental safety of the antagonist strains used. For the first time there has been studied the ability of *T. atroviride* complexes and diazotrophs to biocontrol *F. culmorum*, the main causative agent of root rot in grain crops, in the soil. A model experiment to identify the biocontrol activity of strains was carried out in microcosms with soil inoculated with the studied microbial cultures. After 45 days of incubation, spring wheat (*Triticum aestivum* L.) of the 'Bazhenka' cultivar was sown on the soil surface and 7 days after the sowing, the growth and infection rates of the seedlings were evaluated. It was found that the complexes of *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola*, as well as *T. atroviride* + *F. muscicola* had the strongest biocontrol effect, which reduced the development of root rot by 4.12–4.97 times relative to the infectious background without the introduction of antagonists. Under the influence of trichoderma and diazotrophs on an infectious background, the dry weight of wheat seedlings increased by 72.9 % compared with soil inoculation with *F. culmorum* monoculture R/z-16. The ecological safety of filtrates of liquid cultures of *T. atroviride* K-01P (dilution 1:100), *F. muscicola* 300 (dilution 1:10-1:100) for the preparation *Ecolume* and *Daphnia magna* crustaceans has been confirmed. Field research data for 2022-2023 indicate the absence of a negative effect of *T. atroviride* K-01P and *F. muscicola* 300 on native representatives of micromycetes and ammonifying bacteria in the soil of the root zone of wheat. The results of the study expand traditional ideas about the possibility of using fungi of the genus *Trichoderma* and diazotrophs in the biological control of fungal phytopathogens and determine the prospects of using microbial complexes based on them in agriculture.

Keywords: *Trichoderma*, *Fusarium*, *Fischerella*, *Azotobacter*, *Triticum aestivum* L., biocontrol, antagonism, bioassay

Acknowledgments: the research was carried out within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0007).

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: Starikov P. A., Olkova A. S., Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Stepanov P. D. Study of biocontrol properties of *Trichoderma atroviride* and diazotroph complexes and assessment of their environmental safety. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1309–1319. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1309-1319>

Received: 23.09.2025

Accepted for publication: 28.11.2025

Published online: 26.12.2025

Использование в сельском хозяйстве комплексных биопрепаратов обеспечивает многоканальное воздействие на агробиоценозы [1, 2]. В частности, одним из важных направлений биологизации земледелия является применение комбинированных препаратов на основе микромицетов рода *Trichoderma* и прокариотных штаммов [3]. При этом в качестве микробов-партнёров *Trichoderma* spp. могут выступать свободноживущие бактерии-дiazотрофы. Показано, что партнёрство триходермы с ассоциативными азотфиксаторами, такими как бактерии pp. *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Anabaena* позволяет повысить показатели продуктивности растений, усилить их иммунитет, а также осуществлять более эффективный контроль распространения фитопатогенов в сравнении с действием микробных моно-

культур [4, 5, 6, 7]. В связи с этим для расширения представлений об агробиотехнологическом потенциале триходермально-дiazотрофных комплексов мы изучили возможность биоконтроля в почве фитопатогенного гриба *Fusarium culmorum*.

Цель исследований – изучить биоконтрольные свойства комплексов гриба *Trichoderma atroviride*, бактерий-дiazотрофов *Fischerella muscicola* и *Azotobacter chroococcum* в отношении фитопатогена *Fusarium culmorum*. Оценить экологическую безопасность используемых штаммов-антагонистов.

Научная новизна – впервые исследована способность комплексов *Trichoderma atroviride* и diazотрофов к биоконтролю в почве *F. culmorum* – основного возбудителя корневых гнилей зерновых культур.

Материал и методы. Для проведения исследований использовали среднесуглинистую дерново-подзолистую почву, которую отбирали в фитопитомнике ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудниченко» (г. Киров – 58°56.8080' N, 49°67.6426' E) из пахотного горизонта с глубины 0–20 см. По данным агрохимического анализа, почва содержит: органического вещества (гумуса) – 1,85 %; обменного калия (K₂O) – 260 мг/кг; подвижного фосфора (P₂O₅) – 280 мг/кг; нитратного азота (NO₃⁻) – 5,4 мг/кг; pH водной вытяжки – 6,2; pH солевой вытяжки 5,0. Агрохимический анализ проводили на базе Кировского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба».

Отобранную почву освобождали от растительных остатков, высушивали, просеивали через сито с диаметром отверстий 3 мм и растирали в ступке. Затем навески почвы в воздушно-сухом состоянии (70±1 г) помещали в чашки Петри и стерилизовали в автоклаве (режим стерилизации 121 °С, 60 минут). Далее стерильную почву искусственно заражали конидиями фитопатогена *F. culmorum* P/з-16 и инокулировали суспензиями *T. atroviride* К-01П, *A. chroococcum* РП-22, *F. muscicola* 300 и их сочетаниями.

Штамм P-з/16 *F. culmorum* выделен из зерна озимой ржи, изолят *T. atroviride* К-01П – из почвы на берегу р. Мостовица (г. Киров). Оба микромицета идентифицированы до вида с помощью анализа последовательностей ITS1-генов 5.8S рРНК-ITS2. Штамм *A. chroococcum* РП-22 выделен из ризосферы

яровой пшеницы (г. Киров) и идентифицирован до вида с использованием анализа варибельного участка V3-V4 гена 16S рРНК. Идентификацию обоих штаммов проводили в ООО «Синтол» (г. Москва). Альгологически чистая культура цианобактерии (ЦБ) *F. muscicola* 300 из коллекции фототрофных и гетеротрофных микроорганизмов кафедры агробиотехнологии, ландшафтной архитектуры и пищевых производств Вятского ГАТУ выделена из луговой дерново-подзолистой почвы на территории Кировской области (Оричевский район).

Для получения микробных инокулянтов проводили культивирование микромицетов на агаризованной среде Чапека, *A. chroococcum* – на плотной среде Эшби, *F. muscicola* – на жидкой среде Громова №6 без источника азота. Культуры *T. atroviride*, *F. culmorum*, *A. chroococcum* смывали с поверхности агаровой среды стерильной дистиллированной водой. Жидкую культуру *F. muscicola* центрифугировали (12000 g, 10 мин) для отделения биомассы от супернатанта, после чего биомассу клеток суспендировали в стерильной дистиллированной воде и смешивали на малом гомогенизаторе MPW-302 (Польша) в течение 3 мин, режим скорости – 9000 об./мин. Воздушно-сухую почву опытных вариантов увлажняли до 60 % полной влагоёмкости путём внесения по 27 мл микробных суспензий, содержащих исследуемые штаммы в виде монокультур и их комплексов (табл. 1).

Таблица 1 – Схема модельного опыта /
Table 1 – Scheme of the model experiment

Вариант / Variant	Количество клеток (КОЕ*) в почве в начале опыта / The number of cells (CFU*) in the soil at the beginning of the experiment			
	клеток/(г почвы**) / cells/(g soil**)			КОЕ/(г почвы) / CFU/(g soil)
	<i>Fusarium</i>	<i>Trichoderma</i>	<i>Fischerella</i>	<i>A. chroococcum</i>
Контроль / Control	-	-	-	-
<i>Fusarium</i>	7,2×10 ⁴	-	-	-
<i>Fusarium</i> + <i>Fischerella</i>	7,2×10 ⁴	-	7,2×10 ⁴	-
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i>	7,2×10 ⁴	-	-	7,2×10 ⁶
<i>Fusarium</i> + <i>Trichoderma</i>	7,2×10 ⁴	7,2×10 ⁴	-	-
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i> + <i>Trichoderma</i>	7,2×10 ⁴	3,6×10 ⁴	-	3,6×10 ⁶
<i>Fusarium</i> + <i>Trichoderma</i> + <i>Fischerella</i>	7,2×10 ⁴	3,6×10 ⁴	3,6×10 ⁴	-
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i> + <i>Fischerella</i>	7,2×10 ⁴	-	3,6×10 ⁴	3,6×10 ⁶
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i> + <i>Trichoderma</i> + + <i>Fischerella</i>	7,2×10 ⁴	2,4×10 ⁴	2,4×10 ⁴	2,4×10 ⁶

Примечания: *Fusarium* – *F. culmorum*; *Fischerella* – *F. muscicola*; *Azotobacter* – *A. chroococcum*; *Trichoderma* – *T. atroviride*; *КОЕ – колониеобразующая единица; **значения количества клеток (КОЕ) приведены для почвы с влажностью 60 % от полной влагоёмкости /

Notes: *Fusarium* – *F. culmorum*; *Fischerella* – *F. muscicola*; *Azotobacter* – *A. chroococcum*; *Trichoderma* – *T. atroviride*; *CFU – colony-forming unit; **cell (CFU) values are given for soil with moisture content of 60 % of the total moisture capacity

В контроле влажность почвы обеспечивали добавлением стерильной дистиллированной воды. Титр суспензий пропагул микромицетов и клеток ЦБ подсчитывали в камере Горяева, *A. chroococcum* – методом серийных разведений.

При проведении опыта чашки Петри экспонировали при температуре 23 ± 1 °С и фотопериоде 12/12 (освещенность 5000 лк). Влажность почвы на уровне 55–65 % от полной влагоемкости контролировали на протяжении опыта путём периодического взвешивания чашек Петри, заполненных почвой, и увлажнения почвы стерильной дистиллированной водой. После появления визуально заметных массовых разрастаний биоплёнок в вариантах с внесением ЦБ (через 45 суток с момента инокуляции почвы) на поверхность почвы высевали семена мягкой яровой пшеницы сорта Баженка по 20 штук на чашку и проращивали 7 суток в тех же условиях освещённости и температуры. Далее определяли всхожесть, степень развития болезни проростков по потемнению поверхности стебля на уровне корневой шейки по методике [8], измеряли длину надземной части и сухую массу побегов.

Для оценки экологической безопасности метаболитов штаммов-антагонистов вырастили 10-суточную жидкую культуру *T. atroviride* К-01П (титр – $1,5 \times 10^7$ конидий/мл; сухая биомасса $3,24 \pm 0,31$ мг/мл) на среде Чапека и 3-месячную культуру *F. muscicola* 300 (титр – $2,0 \times 10^7$ кл./мл) на среде Громова №6 без источника азота. Штаммы культивировали при температуре 24 ± 1 °С (*T. atroviride* – в темноте, *F. muscicola* – при фотопериоде 12/12, 5000 лк), после чего подвергали культуры фильтрации через фильтровальную бумагу. Экотоксикологическую оценку фильтратов проводили в аккредитованной экоаналитической лаборатории Вятского ГУ по интенсивности биолюминесценции бактериального препарата Эколюм на основе *Escherichia coli* за 30 мин экспозиции¹, а также по смертности *Daphnia magna* за 96 ч [9].

В полевом опыте (2022-2023 гг.) исследовали влияние штаммов *T. atroviride* К-01П и *F. muscicola* 300, а также фитопатогена *F. culmorum* P/з-16 в качестве искусственного инфекционного фона на урожайность яровой пшеницы

сорта Баженка и состояние аборигенной микробиоты в ризосфере растений. Мелкоделяночный опыт закладывали в соответствии со схемой: 1 – без обработки семян (контроль); 2–9 – обработка семян: 2 – *T. atroviride*; 3 – *F. muscicola*; 4 – *F. culmorum*; 5 – *T. atroviride* + *F. muscicola*; 6 – *T. atroviride* + *F. culmorum*; 7 – *F. muscicola* + *F. culmorum*; 8 – *T. atroviride* + *F. muscicola* + *F. culmorum*; 9 – фунгицид Максим, КС (концентрат суспензии), действующее вещество «флудиоксонил». Методика полевого опыта подробно изложена в статье [10]. После уборки урожая пшеницы выкопали корни растений, отобрали прикорневую почву с глубины 0–5 см, которую подсушивали на воздухе при температуре 23 °С до воздушно-сухого состояния. Количественный учет микробиоты проводили методом разведения с дальнейшим посевом на селективные питательные среды: микромицеты – на среде Чапека, бактерии-аммонификаторы – на среде ГРМ-агар.

Повторность опытов трёхкратная. Статистическую обработку полученных данных произвели методом дисперсионного анализа в программах Microsoft Excel и AGROS 2.07.

Результаты и их обсуждение. Биоконтрольная активность микробных комплексов по отношению к *F. culmorum*. В ранее проведенных исследованиях методом встречных культур была доказана способность *T. atroviride* К-01П к подавлению мицелиального роста фитопатогена *F. culmorum* P/з-16 [11]. Также показано, что внесение в почву ЦБ *F. muscicola* 300 в условиях инфекционного фона *F. culmorum* способствует снижению уровня окислительного стресса у растений *Melissa officinalis* L. [12]. В настоящем исследовании сосредоточено внимание на сравнении биоконтрольного потенциала комплексов *T. atroviride* с бактериями-дiazотрофами и монокультур исследуемых штаммов на проростках мягкой яровой пшеницы.

Согласно полученным результатам, во всех вариантах с заражением почвы фузариумом и последующим посевом пшеницы отмечено снижение длины (>18,8 %) и массы (>26,6 %) побега в сравнении с контролем (стерильная почва), что свидетельствует о токсическом действии *F. culmorum* P/з-16 на проростки (табл. 2).

¹Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм» ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04. М., 2010. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837368.htm> (дата обращения: 18.08.2025).

Таблица 2 – Показатели роста проростков мягкой яровой пшеницы сорта Баженька в модельном опыте (7 суток с момента посева) /

Table 2 – Growth rates of soft spring wheat seedlings of the ‘Bazhenka’ cultivar in a model experiment (7 days from the moment of sowing)

Вариант / Variant	Всхожесть, % / Germination rate, %	Длина побега, мм / Shoot length, mm	Сухая масса, мг / Dry weight, mg	
			1 побега / of 1 shoot	всех побегов / of all shoots
Контроль / Control	100,0±0	130,1±4,5	12,20±0,41	244,00±8,18
<i>Fusarium</i>	78,3±20,8	82,0±26,9	5,78±0,97	92,33±36,69
<i>Fusarium</i> + <i>Fischerella</i>	93,3±5,8	93,2±12,4	9,19±1,50	171,00±32,36
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i>	80,0±8,7	89,1±13,9	7,21±1,41	117,00±36,43
<i>Fusarium</i> + <i>Trichoderma</i>	75,0±13,2	70,3±2,6	6,21±0,20	93,33±17,62
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i> + <i>Trichoderma</i>	83,3±10,4	93,1±18,8	7,94±0,59	133,00±24,52
<i>Fusarium</i> + <i>Trichoderma</i> + <i>Fischerella</i>	70,0±13,2	74,0±9,6	7,58±0,86	104,67±8,08
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i> + <i>Fischerella</i>	80,0±15,0	81,5±14,4	7,00±0,41	112,00±20,66
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i> + <i>Trichoderma</i> + <i>Fischerella</i>	91,7±5,8	105,7±13,0	8,73±0,56	159,67±8,14
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	25,365	1,549	43,935

Примечания / Notes: *Fusarium* – *F. culmorum*; *Fischerella* – *F. muscicola*; *Azotobacter* – *A. chroococcum*; *Trichoderma* – *T. atroviride*

Внесение исследуемых штаммов в условиях инфекционного фона не привело к достоверным изменениям показателей всхожести и длины побега относительно варианта с монокультурой *F. culmorum*. Но при интродукции в почву *F. muscicola* и комплекса *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola* сухая масса побега

возросла на 59,0 и 50,8 % относительно варианта с инфекцией без внесения триходермы и диазотрофов. Кроме того, микробы-интродуценты вызывали снижение инфекционной нагрузки на проростки, что выражалось в уменьшении степени развития корневых гнилей относительно варианта с монокультурой *F. culmorum* (рис. 1).

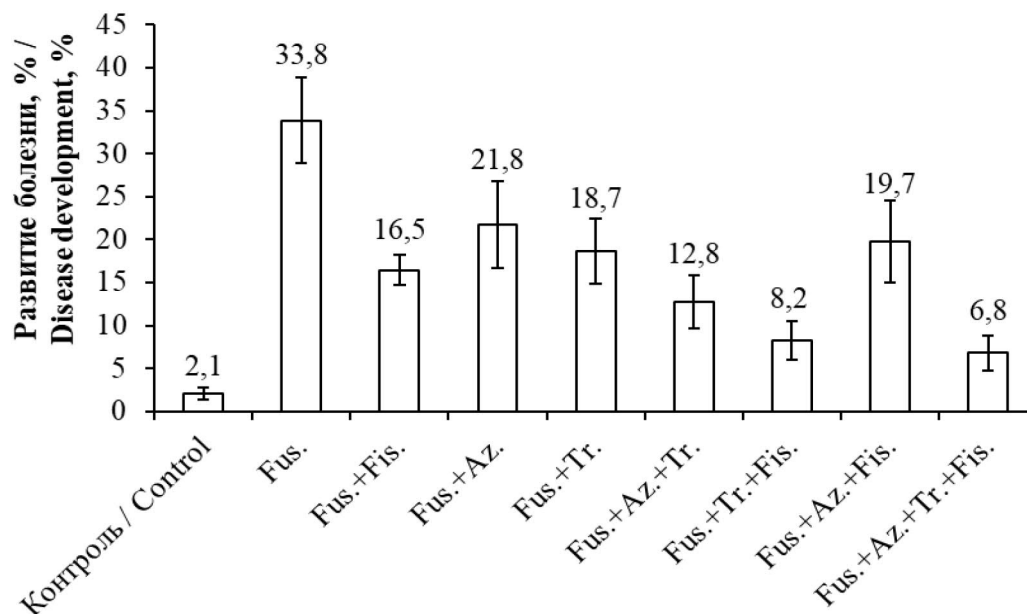


Рис. 1. Степень развития корневых гнилей у проростков яровой мягкой пшеницы в вариантах модельного опыта (HCP₀₅=5,897). Fus. – *F. culmorum*; Az. – *A. chroococcum*; Tr. – *T. atroviride*; Fis. – *F. muscicola*. Планки погрешностей отражают значения стандартного отклонения /

Fig. 1. The degree of root rot development in spring soft wheat seedlings in the model experiment variants (LSD₀₅ = 5.897). Fus. – *F. culmorum*; Az. – *A. chroococcum*; Tr. – *T. atroviride*; Fis. – *F. muscicola*. The error bars reflect the standard deviation values

Интродукция всех исследуемых штаммов-антагонистов по отдельности, а также комплекса *A. chroococcum* + *F. muscicola* показала сопоставимое защитное действие от поражения инфекцией: развитие корневых гнилей у 7-дневных проростков в 1,55–2,05 раза отмечено ниже, чем в варианте с монокультурой *F. culmorum*. В случае бинарных комплексов с *T. atroviride* и инокулянта *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola* наблюдали ещё более низкое развитие болезни, причём наиболее эффективны в этом отношении – комплексы *T. atroviride* + *F. muscicola* и *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola* (снижение развития корневых гнилей в 4,12 и 4,97 раза соответственно). В варианте *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola* также выявили достоверную прибавку (+67,34 г, или 72,9 %) по общей массе проростков относительно варианта с инокуляцией почвы монокультурой фитопатогена (табл. 2). Коэффициент корреляции между развитием корневых гнилей и сухой массой побега составил $r = -0,78$ (при $r \geq 0,95$), между развитием корневых гнилей и общей массой побегов – $-0,69$, что соответствует сильной отрицательной связи.

В настоящее время известно о способности грибов рода *Trichoderma*, а также ЦБ *F. muscicola* и штаммов *Azotobacter* spp. продуцировать активные метаболиты, подавляющие развитие фитопатогенов рода *Fusarium* [13, 14, 15]. Известно, что *F. culmorum* является одним из агрессивных патогенов злаковых в условиях умеренной климатической зоны [16]. Среди штаммов *T. atroviride* выявлен изолят BC0584, улучшающий всхожесть семян кукурузы (*Zea mays* L.), заражённых патогенами *Fusarium avenaceum* и *F. culmorum* [17]. Отмечается способность представителей *T. atroviride* активизировать синтез антиоксидантных ферментов и фенолов в тканях пшеницы (*Triticum durum* Desf. и *T. aestivum* L.), обеспечивающих индуцированную устойчивость растений к поражению *F. culmorum* [18]. Среди *Azotobacter* spp. выявлен штамм Azt 31 *A. salinestrus*, проявляющий антагонизм к *F. culmorum* как в условиях опыта *in vitro* с двойными культурами, так и при инокуляции семян кукурузы (*Z. mays* L.), сорго (*Sorghum bicolor* L.) и пшеницы (*T. aestivum* L.) [19]. Активность в отношении данного фитопатогена проявляют и некоторые виды цианобактерий. В частности, в модельном опыте показано, что при внесении в почву спор *F. culmorum* добавление ЦБ *Nostoc com-*

mune, *Nostoc paludosum* и *Microchaeta tenera* вызвало супрессивный эффект в отношении гриба, что проявилось в полном исчезновении мицелия фитопатогена через 7 суток инкубации [2]. Отмечено, что ЦБ *F. muscicola* 300 обладает биопротекторными свойствами: её ассоциация с *N. commune* и *N. paludosum* проявила биоконтрольное действие, значительно сократив количество пропагул (в 3,7 раза) и длину мицелия фитопатогена *F. culmorum* (в 12,7 раза) [20]. Таким образом, проведенное исследование расширяет имеющиеся представления о биоконтрольном потенциале микромицетов рода *Trichoderma* и диазотрофов в отношении грибных фитопатогенов рода *Fusarium*.

Экологическая оценка штаммов-антагонистов. В процессе жизнедеятельности микробные культуры способны продуцировать различные экзометаболиты, оказывающие влияние на другие организмы. Поэтому для доказательства возможности последующего внедрения изучаемых микроорганизмов в практику экологически ориентированного сельского хозяйства оценивали экологическую безопасность фильтратов суспензий жидких культур штаммов методами биотестирования. Основное внимание в данном исследовании сосредоточено на экологической оценке *T. atroviride* К-01П и *F. muscicola* 300, которые показали способность увеличивать урожайность мягкой яровой пшеницы в мелкоделяночных испытаниях 2022-2023 гг. [10]. Согласно результатам теста на препарате Эколном, метаболиты в составе фильтрата жидкой культуры (ФЖК) *F. muscicola* 300 (с разбавлением и без) не вызывали угнетения биолюминесценции. Разбавленные ФЖК *T. atroviride* К-01П также не подавляли биолюминесценцию, при этом неразбавленный ФЖК угнетал свечение бактериального препарата, что говорит о его токсическом действии на тест-систему (табл. 3).

В биотесте на *Daphnia magna* показано, что ФЖК *T. atroviride* в разбавлении 1:100 оказался полностью безопасным для этих тест-организмов: в течение 96 часов особи дафний сохраняли жизнеспособность и оставались активными (табл. 4). Более концентрированные культуральные фильтраты *T. atroviride* вызывали гибель рачков в тесте на острую токсичность. ФЖК *F. muscicola* 300, даже в неразбавленном виде, не вызывал гибели *D. magna* через 96 часов с момента начала инкубации, хотя и угнетал их активность, при этом в случае разбавленного фильтрата особи оставались активными на протяжении всего времени опыта.

Таблица 3 – Результаты биотестирования фильтратов культур *T. atroviride* и *F. muscicola* на препарате Эколюм /

Table 3 – Results of biotesting of filtrates of *T. atroviride* and *F. muscicola* cultures using the Ecolum preparation

Культура / Culture	Индекс токсичности / Toxicity index				
	питательная среда / culture medium	разбавление фильтрата жидкой культуры / dilution of liquid culture filtrate			
		1:100	1:50	1:10	неразбавленный / undiluted
<i>T. atroviride</i>	-538,06	-229,18	-268,39	-555,64	1642,81
<i>F. muscicola</i>	-176,59	-127,20	-100,49	-116,14	-169,38

Примечание. В таблице указаны средние значения показателя для 3 определений. Отрицательные значения свидетельствуют об отсутствии токсического действия /

Note. The table shows average values for the indicator for 3 measurements. Negative values indicate the absence of toxic effects

Таблица 4 – Результаты оценки острой токсичности фильтратов культур *T. atroviride* и *F. muscicola* на *Daphnia magna* /

Table 4 – Results of the assessment of the acute toxicity of *T. atroviride* and *F. muscicola* culture filtrates on *Daphnia magna*

Культура / Culture	Количество выживших дафний, % / Активность дафний / Number of surviving daphnia, % / Daphnia activity		
	разбавление фильтрата жидкой культуры / dilution of liquid culture filtrate		
	1:100	1:10	неразбавленный / undiluted
<i>T. atroviride</i>	100/A	0/-	0/-
<i>F. muscicola</i>	100/A	100/A	100/H

Примечания: А – особи активны; Н – особи неактивны / Notes: A – individuals are active; H – individuals are inactive

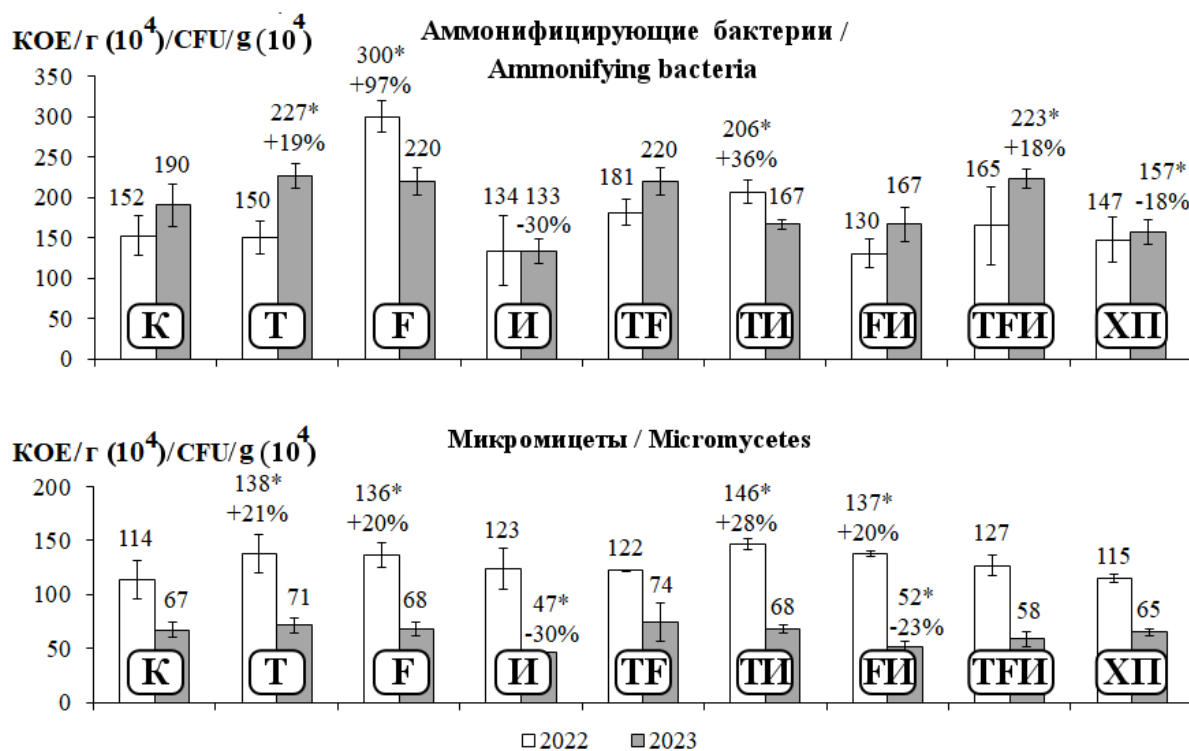
Таким образом, согласно результатам эколого-токсикологической оценки, фильтраты культур *F. muscicola* 300 (разбавления 1:10 и 1:100) и *T. atroviride* К-01П (разбавление 1:100) безопасны для чувствительных тест-организмов, что открывает перспективу использования данных микробных штаммов и их метаболитов в сельском хозяйстве.

Результаты количественного учета микроорганизмов в почве, отобранной под посевами яровой пшеницы, показали, что под действием инокулянтов в составе микробных комплексов происходят определённые изменения. В относительно благоприятных условиях 2022 г. наибольшую численность бактерий-аммонификаторов и микромицетов в прикорневой зоне наблюдали при обработке семян ЦБ *F. muscicola* 300 (рис. 2). Также в 2022 г. значимое увеличение численности учитываемых в опыте микробных групп отмечено в варианте с инокуляцией семян *T. atroviride* К-01П в сочетании с искусственным заражением *F. culmorum* Р/з-16. Вероятно, это обусловлено накоплением к концу вегетации в ризосфере пшеницы под действием данных инокулянтов большего

количества остатков целлюлозы, а также белковых соединений и аминокислот, которые являются питательными субстратами для учитываемых групп аборигенной микробиоты.

Примечательно, что в 2023 г., который отличался нестабильными погодными условиями и более сильным развитием корневых гнилей [10], на искусственном инфекционном фоне было зафиксировано снижение на 1/3 общей численности микромицетов и бактерий-аммонификаторов. Предполагаем, что под действием *F. culmorum* к концу вегетации корневая система развивалась слабее и, как следствие, сформировался меньший пул исследуемых экологических групп микроорганизмов.

В 2023 г. под посевами на поверхности почвы были визуально заметны признаки «цветения». Анализ альгоцианофлоры образцов почвы, отобранных с её поверхности, показал, что в отличие от химического фунгицида Максим, который значительно подавлял развитие микроводорослей и цианобактерий, микробная инокуляция не привела к радикальным сдвигам в состоянии наземных фототрофных микробных сообществ [21].



* Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$. В процентах указаны различия показателей с контролем / *Differences with the control are significant at $p \leq 0.05$. The differences in indicators with the control are indicated as a percentage

Рис. 2. Численность микроорганизмов в почве, отобранной под посевами яровой пшеницы сорта Баженка, КОЕ/г абсолютно сухой почвы (полевой опыт, 2022-2023 гг.): К – контроль; Т – *T. atroviride*; Ф – *F. muscicola*; И – *F. culmorum*; ХП – химический препарат (Максим).

Fig. 2. The number of microorganisms in the soil selected for spring wheat crops of the 'Bazhenka' cultivar, CFU/g of absolutely dry soil (field experiment, 2022-2023): К – control; Т – *T. atroviride*; Ф – *F. muscicola*; И – *F. culmorum*; ХП – chemical fungicide (Maskim).

Таким образом, результаты исследования микробиоты в почве под посевами пшеницы свидетельствуют об отсутствии негативного воздействия микробных инокулянтов на основе *T. atroviride* К-01П и *F. muscicola* 300 на микромицетов и бактерий-аммонификаторов прикорневой зоны.

Заключение. Использование искусственных комплексов эукариотных и прокариотных микробов-антагонистов (*T. atroviride*, *A. chroococcum* и *F. muscicola*) приводит к усилению биоконтроля фитопатогенного гриба *F. culmorum* по сравнению с их интродукцией по отдельности. В исследовании выявлены новые эффективные комплексы с сильным биоконтрольным действием: *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola*, а также *T. atroviride* + *F. muscicola*, снижающие развитие корневых гнилей проростков пшеницы в условиях лабораторного опыта в 4,12–4,97 раза относительно искусственного фона без внесения антагонистов.

Положительное действие комплекса *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola* проявилось и в возрастании на 72,9 % общей сухой биомассы проростков пшеницы.

Согласно результатам экотоксикологической оценки, фильтраты жидких культур *T. atroviride* К-01П (разбавление 1:100) и *F. muscicola* 300 (разбавление 1:10–1:100) не обладают токсическим действием на живые организмы (*E. coli* и *D. magna*), поэтому их можно применять в практике борьбы с инфекционными болезнями растений. Кроме того, получены данные полевых исследований 2022-2023 гг. об отсутствии негативного влияния *T. atroviride* К-01П и *F. muscicola* 300 на численность аборигенных представителей микромицетов и аммонифицирующих бактерий под посевами пшеницы, что усиливает практическое значение проводимых исследований и разработок экологически безопасных микробных биопрепаратов.

Список литературы

1. Панкратова Е. М., Трефилова Л. В., Зяблых Р. Ю., Устюжанин И. А. Цианобактерия *Nostoc paludosum* как основа для создания агрономически полезных микробных ассоциаций на примере бактерий рода *Rhizobium*. Микробиология. 2008;77(2):266–272. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9934461> EDN: HNRBNW
2. Домрачева Л. И., Широких И. Г., Фокина А. И. Антифузариозное действие цианобактерий и актиномицетов в почве и ризосфере. Микология и фитопатология. 2009;43(2):157.
3. Poveda J., Eugui D. Combined use of *Trichoderma* and beneficial bacteria (mainly *Bacillus* and *Pseudomonas*): Development of microbial synergistic bio-inoculants in sustainable agriculture. Biological Control. 2022;176:105100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105100>
4. Velmourougane K., Prasanna R., Chawla G., Nain L., Kumar A., Saxena A. K. *Trichoderma*–*Azotobacter* biofilm inoculation improves soil nutrient availability and plant growth in wheat and cotton. Journal of Basic Microbiology. 2019;59(6):632–644. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.201900009>
5. Velmourougane K., Prasanna R. *Trichoderma*–*Azotobacter* biofilm-based formulation enhance natural plant defense enzyme activities in wheat and cotton seedlings. National Academy Science Letters. 2024;47:61–64. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40009-023-01324-w>
6. Михайловская Н. А., Войтка Д. В., Юхновец А. В., Барашенко Т. Б., Дюсова С. В. Сравнительная эффективность раздельного и совместного применения *A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum* на посевах тритикале озимого на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах. Почвоведение и агрохимия. 2021;(1):129–138. Режим доступа: <https://soil.belal.by/jour/article/view/790> EDN: DILLUV
7. Prasanna R., Babu S., Bidyarani N., Kumar A., Triveni S., Monga D. et al. Prospecting cyanobacteria-fortified composts as plant growth promoting and biocontrol agents in cotton. Experimental Agriculture. 2015;51(1):42–65. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479714000143>
8. Григорьев М. Ф. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. Л.: ВИР, 1976. 59 с.
9. Кузнецова О. И., Гончарова Е. Н. Эколого-токсикологический анализ биопрепаратов. Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материальное производство, химия и биотехнология: мат-лы Международ. научн. конф., Алушта-Белгород, 30 мая – 03 июня 2022 года. Белгород: БелГТУ им. В. Г. Шухова, 2022. С. 432–437. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49347249> EDN: EZVSEM
10. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Стариков П. А. Влияние микробной инокуляции семян на биоконтроль корневых гнилей, биометрию растений и урожайность яровой пшеницы. Таврический вестник аграрной науки. 2024;(1(37)):187–197. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10930956> EDN: VRNNTW
11. Стариков П. А., Домрачева Л. И., Фокина А. И., Олькова А. С., Ахмедов Г. Р., Степанов П. Д., Киреева А. Р. Возможные пути применения консортивных связей нового штамма *Trichoderma atroviride* с азотфиксаторами в агробиотехнологии. Теоретическая и прикладная экология. 2025;(1):140–150. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-4-140-150> EDN: EMHNJO
12. Фокина А. И., Скугорева С. Г., Трефилова Л. В., Даровских Л. В. Определение показателей окислительного стресса в мясе лекарственной при действии микромицета *Fusarium culmorum* и его антагонистов. Теоретическая и прикладная экология. 2022;(2):77–83. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-077-083> EDN: GDATMV
13. Guzmán-Guzmán P., Etesami H., Santoyo G. *Trichoderma*: a multifunctional agent in plant health and microbiome interactions. BMC microbiology. 2025;25(1):434. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12866-025-04158-2>
14. Домрачева Л. И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2005. 336 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19507910> EDN: OUFGBS
15. Nagaraja H., Chennappa G., Rakesh S., Naik M. K., Amaresh Y. S., Sreenivasa M. Y. Antifungal activity of *Azotobacter nigrificans* against trichothecene-producing *Fusarium* species associated with cereals. Food science and biotechnology. 2016;25(4):1197–1204. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0190-8>
16. Орина А. С., Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю., Лоскутов И. Г. Симбиотические взаимоотношения грибов рода *Fusarium* и *Alternaria*, колонизирующих зерно овса. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(5):986–994. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2017.5.986rus> EDN: ZRXOCX
17. Coninck E., Scauflaire J., Gollier M., Liénard C., Foucart G., Manssens G. et al. *Trichoderma atroviride* as a promising biocontrol agent in seed coating for reducing *Fusarium* damping-off on maize. Journal of applied microbiology. 2020;129(3):637–651. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14641>
18. Belhadj Benyahia F., Kthiri Z., Hamada W., Boureggha H. *Trichoderma atroviride* induces biochemical markers associated with resistance to *Fusarium culmorum*, the main crown rot pathogen of wheat in Algeria. Biocontrol Science and Technology. 2020;31(4):357–372. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1853676>
19. Nagaraja H., Chennappa G., Deepa N., Naik M. K., Ajithkumar K., Amaresh Y. S., et al. Antifungal potential of *Azotobacter salinestris* strain Azt 31 against phytopathogenic *Fusarium* spp. associated with cereals. Journal of Fungi. 2022;8(5):473. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8050473>

20. Фокина А. И., Скугорева С. Г., Домрачева Л. И., Ковина А. Л. Антагонистическая и сорбционная активность моно-, бинарных и трёхвидовых биоплёнок почвенных цианобактерий. Теоретическая и прикладная экология. 2020;(3):119–125. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-119-125> EDN: DRETYW
21. Кондакова Л. В., Стариков П. А., Домрачева Л. И. Специфика фототрофных наземных микробных комплексов в посевах пшеницы. Теоретическая и прикладная экология. 2024;(3):115–122. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-3-115-122> EDN: FRYDAM

References

1. Pankratova E. M., Trefilova L. V., Zyblikh R. Yu., Ustyuzhanin I. A. Cyanobacterium *Nostoc paludosum* kütz as a basis for creation of agriculturally useful microbial associations by the example of bacteria of the genus rhizobium. *Mikrobiologiya* = Microbiology. 2008;77(2):266–272. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9934461>
2. Domracheva L. I., Shirokikh I. G., Fokina A. I. Cyanobacteria and actinomycetes influence against *Fusarium* species in soil and rhizosphere. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 2009;43(2):157. (In Russ.).
3. Poveda J., Eugui D. Combined use of *Trichoderma* and beneficial bacteria (mainly *Bacillus* and *Pseudomonas*): Development of microbial synergistic bio-inoculants in sustainable agriculture. *Biological Control*. 2022;176:105100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105100>
4. Velmourougane K., Prasanna R., Chawla G., Nain L., Kumar A., Saxena A. K. *Trichoderma*–*Azotobacter* biofilm inoculation improves soil nutrient availability and plant growth in wheat and cotton. *Journal of Basic Microbiology*. 2019;59(6):632–644. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.201900009>
5. Velmourougane K., Prasanna R. *Trichoderma*–*Azotobacter* biofilm-based formulation enhance natural plant defense enzyme activities in wheat and cotton seedlings. *National Academy Science Letters*. 2024;47:61–64. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40009-023-01324-w>
6. Mikhailouskaya N. A., Voitka D. V., Yukhnovets A. V., Barashenko T. B., Dyusova C. V. Efficiency of separate and combine application of *A. brasilense*, *B. circulans* and *T. longibrachiatum* for the treatment of winter triticale sowing on eroded luvisol sandy loam soils. *Pochvovedenie i agrokimiya* = Soil Science and Agrochemistry. 2021;(1):129–138. (In Russ.). URL: <https://soil.belar.by/jour/article/view/790>
7. Prasanna R., Babu S., Bidyarani N., Kumar A., Triveni S., Monga D. et al. Prospecting cyanobacteria-fortified composts as plant growth promoting and biocontrol agents in cotton. *Experimental Agriculture*. 2015;51(1):42–65. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479714000143>
8. Grigorev M. F. Methodological guidelines for studying the resistance of grain crops to root rot. Leningrad: *VIR*, 1976. 59 p.
9. Kuznetsova O. I., Goncharova E. N. Ecological and toxicological analysis of biological products. Rational use of natural resources and processing of man-made raw materials: fundamental problems of science, materials science, chemistry and biotechnology: Proceedings of the international scientific conference, Alushta-Belgorod, May 30 – June 03, 2022. Belgorod: *BeLGTU im. V. G. Shukhova*, 2022. pp. 432–437. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49347249>
10. Sheshhegova T. K., Shchekleina L. M., Starikov P. A. Effect of microbial inoculation of seeds on root rot biocontrol, biometrical parameters and yield of spring wheat. *Tavrichesky vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2024;(1(37)):187–197. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10930956>
11. Starikov P. A., Domracheva L. I., Fokina A. I., Olkova A. S., Akhmedov G. R., Stepanov P. D., Kireeva A. R. Possible ways of using consortium relations of *Trichoderma atroviride* new strain with nitrogen fixers in agrobiotechnology. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2025;(1):140–150. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-4-140-150>
12. Fokina A. I., Skugoreva S. G., Trefilova L. V., Darovskikh L. V. Determination of oxidative stress indicators in melissa officinalis under the action of micromycete *Fusarium culmorum* and its antagonists. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2022;(2):77–83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-077-083>
13. Guzmán-Guzmán P., Etesami H., Santoyo G. *Trichoderma*: a multifunctional agent in plant health and microbiome interactions. *BMC microbiology*. 2025;25(1):434. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12866-025-04158-2>
14. Domracheva L. I. Soil bloom and the patterns of its development. Syktyvkar: *In-t biologii Komi NTS UrO RAN*, 2005. 336 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19507910>
15. Nagaraja H., Chennappa G., Rakesh S., Naik M. K., Amaresh Y. S., Sreenivasa M. Y. Antifungal activity of *Azotobacter nigricans* against trichothecene-producing *Fusarium* species associated with cereals. *Food science and biotechnology*. 2016;25(4):1197–1204. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0190-8>
16. Orina A. S., Gavrilova O. P., Gagkaeva T. Yu., Loskutov I. G. Symbiotic relationships between aggressive *Fusarium* and *Alternaria* fungi colonizing oat grain. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(5):986–994. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.5.986rus>

17. Coninck E., Scauflaire J., Gollier M., Liénard C., Foucart G., Manssens G. et. al. *Trichoderma atroviride* as a promising biocontrol agent in seed coating for reducing *Fusarium* damping-off on maize. *Journal of applied microbiology*. 2020;129(3):637–651. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14641>
18. Belhadj Benyahia F., Kthiri Z., Hamada W., Boureghda H. *Trichoderma atroviride* induces biochemical markers associated with resistance to *Fusarium culmorum*, the main crown rot pathogen of wheat in Algeria. *Biocontrol Science and Technology*. 2020;31(4):357–372. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1853676>
19. Nagaraja H., Chennappa G., Deepa N., Naik M. K., Ajithkumar K., Amaresh Y. S., et al. Antifungal potential of *Azotobacter salinestris* strain Azt 31 against phytopathogenic *Fusarium* spp. associated with cereals. *Journal of Fungi*. 2022;8(5):473. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8050473>
20. Fokina A. I., Skugoreva S. G., Domracheva L. I., Kovina A. L. Antagonistic and sorption activity of mono-, binary, and three-species biofilms of soil cyanobacteria. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2020;(3):119–125. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-119-125>
21. Kondakova L. V., Starikov P. A., Domracheva L. I. Specificity of phototrophic terrestrial microbial complexes under wheat crops. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2024;(3):115–122. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-3-115-122>

Сведения об авторах

✉ **Стариков Павел Андреевич**, аспирант, ассистент кафедры агробиотехнологии, ландшафтной архитектуры и пищевых производств Института инженерии и агробиотехнологии, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610017, e-mail: info@vgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3205-6696>, e-mail: ya.starikov-pavel@yandex.ru

Олькова Анна Сергеевна, доктор биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ул. Московская, д. 36, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5798-8211>

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

Шеклеина 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. 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3589-5524>

Степанов Павел Дмитриевич, магистрант кафедры агробиотехнологии, ландшафтной архитектуры и пищевых производств Института инженерии и агробиотехнологии, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610017, e-mail: info@vgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4768-3777>

Information about the authors

✉ **Pavel A. Starikov**, postgraduate student, assistant, the Department of Agrobiotechnology, Landscape Architecture and Food Production, Institute of Engineering and Agrobiotechnology, Vyatka State Agrotechnological University, Oktyabrsky prospekt, 133, Kirov, Kirov Region, Russian Federation, 610017, e-mail: info@vgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3205-6696>, e-mail: ya.starikov-pavel@yandex.ru

Anna S. Olkova, DSc in Biological Science, associate professor, Vyatka State University, Moskovskaya str., 36, Kirov, Kirov region, Russian Federation, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5798-8211>

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

Lucia M. Shehekleina, 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, Lenin str., 166-a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3589-5524>

Pavel D. Stepanov, student, the Department of Agrobiotechnology, Landscape Architecture and Food Production, Institute of Engineering and Agrobiotechnology, Vyatka State Agrotechnological University, Oktyabrsky prospekt, 133, Kirov, Kirov Region, Russian Federation, 610017, e-mail: info@vgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4768-3777>

✉ – Для контактов / Corresponding author

**ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ /
STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL
PRODUCTION**

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1320-1331>



УДК 664.696:634.723

Экструдированные хлебцы с зерно-черносмородиновой бардой: физико-химические и сенсорные показатели

© 2025. А. Ю. Шариков, М. В. Амелякина[✉], А. А. Голубев, Е. Н. Соколова, В. В. Ионов, Д. В. Поливановская, В. В. Иванов

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», г. Москва, Российская Федерация

Актуальность разработки функциональных продуктов на основе вторичных сырьевых ресурсов обусловлена тенденциями повышения экологической и экономической эффективности пищевой отрасли. Исследована возможность включения в состав экструдированных пшеничных хлебцев зерно-черносмородиновой барды – вторичного ресурса технологии дистиллятов – в качестве ингредиента с высоким содержанием белка, пищевых волокон и фенольных соединений. Цель исследования – изучить влияние дозровок зерно-черносмородиновой барды на режимы экструзии при получении экструдированных хлебцев, физико-химические и органолептические характеристики продуктов. Смеси с содержанием до 20 % зерно-черносмородиновой барды экструдировали при температуре 155 °С, влажности 17 % при постоянной производительности и скорости вращения шнеков. В аспекте режимных параметров процесса установлено достоверное снижение давления в предметричной зоне с 4,5 до 3,5 МПа с повышением дозровки барды в рецептуре. Добавление барды снижало твердость образцов с 9,4 до 4,2–5,5 Н и повышало количество микроразломов – показателя пористости продукта – с 4,0 до 9,9. Оценка химического состава показала, что внесение до 20 % зерно-черносмородиновой барды повышает содержание белка с 12,5 до 17,1 г/100 г, пищевых волокон – с 5,3 до 11,3 г/100 г, фенольных соединений – с 216 до 558 мг/кг. Отмечено, что в процессе экструзии не происходит потери фенольных соединений, их содержание выше расчетных значений, видимо за счет деструкции высокомолекулярных форм связанных полифенолов в процессе термомеханической обработки смесей. Дегустационная панель (n = 22, пятибалльная шкала) присвоила образцу с 10 % барды наилучшие оценки вкуса (4,4), текстуры (4,3) и общего вида (4,6); при 20 % фиксировалось усиление горечи (3,9). Добавление порядка 10 % зерно-черносмородиновой барды обеспечивает получение хрустящих хлебцев, обогащенных белком, пищевыми волокнами и антиоксидантами, без ухудшения потребительских свойств, что открывает перспективы их использования в рационах здорового питания.

Ключевые слова: утилизация вторичных ресурсов, дистиллят, пшеница, ягодное сырье, термомеханическая обработка, белок, пищевые волокна, фенольные соединения

Благодарности: исследования проведены при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения Государственного задания ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» (тема № FGMP-2023-0004)

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Для цитирования: Шариков А. Ю., Амелякина М. В., Голубев А. А., Соколова Е. Н., Ионов В. В., Иванов В. В. Экструдированные хлебцы с зерно-черносмородиновой бардой: физико-химические и сенсорные показатели. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2025;26(6):1320–1331. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1320-1331>

Поступила: 08.07.2025

Принята к публикации: 05.12.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Extruded crispbreads with grain-blackcurrant distillers' stillage: the physicochemical and sensory indicators

© 2025. Anton Yu. Sharikov, Maria V. Amelyakina✉, Alexey A. Golubev, Elena N. Sokolova, Vladislav V. Ionov, Daria V. Polivanovskaya, Viktor V. Ivanov
All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation

The relevance of developing functional products based on secondary raw materials is due to trends in increasing the environmental and economic efficiency of the food industry. The possibility of including grain-blackcurrant distillers' stillage in the composition of extruded crispbreads based on wheat flour as an ingredient with a high content of protein, dietary fibers and phenolic compounds was studied. The aim of the research was to study the effect of the dosage of grain-blackcurrant stillage on the extrusion modes in obtaining extruded crispbreads, the physicochemical and organoleptic characteristics of the products. Mixtures containing up to 20 % grain-blackcurrant stillage were extruded at 155 °C, 17 % moisture content, and constant productivity and screws speed. In terms of process parameters, a reliable decrease in pressure in the pre-matrix zone was found from 4.5 to 3.5 MPa with an increase in the dosage of stillage in the recipe. Adding stillage reduced the hardness of the samples from 9.4 to 4.2–5.5 N and increased the number of microfractures, the product porosity index, from 4.0 to 9.9. Evaluation of the chemical composition showed that the addition of up to 20 % grain-blackcurrant stillage increases the protein content from 12.5 to 17.1 g/100 g, dietary fiber from 5.3 to 11.3 g/100 g, and phenolic compounds from 216 to 558 mg/kg. It was noted that there was no loss of phenolic compounds during the extrusion process; their content in the crispbreads exceeded the calculated values, apparently due to the destruction of high-molecular forms of bound polyphenols during thermomechanical treatment of the mixtures. The tasting panel (n = 22, five-point scale) assigned the sample with 10 % stillage the best ratings for taste (4.4), texture (4.3) and general appearance (4.6); at 20 %, an increase in bitterness was recorded (3.9). The addition of about 10 % grain-blackcurrant stillage ensures the production of crispbreads enriched with protein, dietary fiber and antioxidants, without deterioration of consumer properties, which opens up prospects for their use in healthy diets.

Keywords: recycling of by-products, distillate, wheat, berry raw materials, thermomechanical processing, protein, dietary fiber, phenolic compounds

Acknowledgments: the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety (theme No. FGMF-2023-0004).

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

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

For citation: Sharikov A. Yu., Amelyakina M. V., Golubev A. A., Sokolova E. N., Ionov V. V., Polivanovskaya D. V., Ivanov V. V. Extruded crispbreads with grain-blackcurrant distillers' stillage: the physicochemical and sensory indicators. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1320–1331. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1320-1331>

Received: 08.07.2025

Accepted for publication: 05.12.2025

Published online: 26.12.2025

В условиях современных требований к экологической и ресурсной устойчивости агропромышленного комплекса возрастает значение технологий, ориентированных на комплексную переработку растительного сырья и эффективное использование побочных продуктов пищевых производств. Особое место в этом контексте занимают спиртовые и дистилляционные технологии, в которых перерабатываются разнообразные плодово-ягодные культуры. В настоящее время в России развиваются технологии дистилляции с расширением ресурсной базы сбраживаемых субстратов. Перспективность использования ягод, в том числе черной смородины (*Ribes nigrum* L.), для получения дистиллятов обоснована не только с позиций органолептики, но и высокой концентрацией биологически активных веществ, что делает возможным создание многопродуктовых биотехнологических схем с получением ценных вторичных продуктов [1, 2].

Процессы спиртового брожения с использованием плодово-ягодного сырья традиционно применяются в различных регионах Европы и Азии. Так, в Восточной Европе активно развита культура производства дистиллятов из сливы, вишни, черешни, винограда, в последнее время из черной смородины, рябины и брусники [3, 4]. Брожение на основе фруктов отличается более сложным составом летучих компонентов, что придаёт дистиллятам особые сенсорные характеристики. Среди прочего, это объясняется содержанием в ягодах соединений, способных участвовать в ароматогенезе при сбраживании: терпенов, фенольных соединений, кислот, эфирных масел [5].

Современные исследования подтверждают, что черная смородина — эффективное сырье для получения оригинальных спиртных и ферментированных напитков [1, 3, 4, 6, 7]. Ферментативная обработка (с использованием пектиназ и целлюлаз) позволяет повысить

извлечение растворимых биокомпонентов, улучшая выход функциональных фракций в жидкую фазу.

В традиционных технологиях выделения сока фруктовые и ягодные жмыхи содержат высокое количество остаточных полифенолов исходного сырья, а также пищевые волокна, органические кислоты, сахара и белковые соединения [8, 9]. Они могут рассматриваться как высокопитательный ингредиент, обогащающий рецептуры пищевых продуктов пищевыми волокнами и антиоксидантами [10]. Введение подобных компонентов в пищевые матрицы позволяет достичь синергетического эффекта: улучшение нутриентного состава при сохранении сенсорных свойств. Например, введение в рецептуру безглютенового печенья всего 3,75 % порошка жмыха черной смородины позволило повысить общее количество фенольных соединений и антиоксидантную активность на 62 и 70 % соответственно [11]. Биохимический состав таких функциональных ингредиентов зависит от исходного сырья, способов и режимов переработки. Отходы переработки черной смородины сохраняют значительное количество антоцианов (особенно цианидин-3-рутинозида), хлорогеновой и кофейной кислот, катехинов и флавонолов [12].

Одним из перспективных направлений утилизации отходов переработки ягод является их использование в качестве компонента экструдированных продуктов. Технология экструзии обеспечивает быструю термомеханическую обработку, в результате которой получают продукты различной формы, текстуры и ситуации потребления – снеки, сухие завтраки, хлебцы и безглютеновые изделия, продукты быстрого приготовления [13, 14]. Введение в рецептуру вторичных сырьевых ресурсов позволяет существенно повысить пищевую ценность экструдатов [14, 15]. Использование порошка черносмородинового жмыха в экструдированной смеси увеличило содержание фенольных соединений в 4 раза, пищевых волокон – с 0,95 до 10,32 г/100 г сухого вещества, улучшились цветовые характеристики продукта за счёт натуральной антоциановой окраски [16]. В ряде экспериментов экструзия смесей кукурузной или рисовой муки с добавлением до 10 % жмыха из черной

смородины привела к получению продуктов с улучшенными показателями текстуры, низким содержанием жира и высоким уровнем антиоксидантов [13].

Аналогично в технологии дистилляции с использованием плодово-ягодного сырья образуется значительный объем вторичных продуктов – барды. Традиционно такие отходы часто подвергаются механической утилизации, компостированию или скармливаются. После-спиртовая барда в контексте разработки технологий дистиллятов из фруктовых, ягодных субстратов, их смесей с зерновыми представляет собой ценное функциональное сырьё [17, 18]. Внедрение её в технологии экструзии позволит не только утилизировать отходы производства, но и создать научный задел для разработки продуктов с высоким уровнем пищевой ценности. Это соответствует современным трендам устойчивого пищевого производства и функционального питания.

Цель исследования – изучить влияние дозировок зерно-черносмородиновой барды на режимы экструзии при получении экструдированных хлебцев, физико-химические, нутрициологические и органолептические характеристики продуктов.

Научная новизна – обоснована технологическая применимость зерно-черносмородиновой барды как функционального ингредиента для технологии экструзии, показано влияние дозировок барды на ключевые режимные параметры экструзии, структурно-механические свойства экструдатов и изменение их пищевой ценности. Установлено, что термомеханическая обработка в случае переработки продуктов биоконверсии ягод смородины повышает долю извлекаемых форм полифенольных соединений за счет деструкции связанных компонентов. Верифицирована согласованность инструментальных показателей текстуры с сенсорной оценкой и обоснован рецептурно-технологический диапазон, обеспечивающий баланс пищевой ценности и потребительских свойств.

Материалы и методы. В качестве основы для экструдированной смеси использовали пшеничную обойную муку по ГОСТ 26574-2017¹.

¹ГОСТ 26574-2017. Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартинформ. 2018. 16 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293742/4293742186.pdf>

Барда зерно-черносморудиновая была получена как вторичный ресурс технологии дистиллята. Помол пшеницы при гидромодуле 1,0:2,5 обрабатывали ферментными препаратами термостабильной альфа-амилазы и ксиланазы в дозировке 1,0 и 0,5 ед./г крахмала соответственно. После варки в течение 3 часов при температуре 85–90 °С загор охлаждали до 58–60 °С и вносили черносморудиновый жмых, который предварительно подщелачивали 30%-й щелочью до pH 4,5, обрабатывали ксиланазой (0,6 ед. КС/г крахмала) и пастеризовали в суховоздушном термостате 1 час при 68–70 °С. Соотношение в сусле зерна и черносморудинового жмыха составляло 70 и 30 %, соответственно. Далее 1 час проводили осахаривание с использованием ферментных препаратов глюкоамилазы 15 ед. ГлС/г крахмала, грибной альфа-амилазы 1 ед. АС/г крахмала, кислой протеазы 0,5 ед. ПС/г крахмала. В охлажденное до 35 °С сусло добавляли антисептик, дрожжи 10–15 млн/мл и проводили сбраживание при температуре 28–30 °С в течение 72 часов. После сбраживания в процессе получения дистиллята на первой стадии перегонки осуществляли процесс извлечения спирта и всех сопутствующих летучих примесей из бражки с получением промежуточного продукта – дистиллята неочищенного. Для реализации указанного процесса использовали вакуумную кубовую установку, температура паров в начале дистилляции составляла 32 °С, в конце – 44 °С. Глубина вакуума до 93 кПа, температура охлаждающей воды – 7 °С [19, 20, 21].

Полученную барду после отгона высушивали и добавляли в пшеничную муку обойную в количестве до 20 %, в смесь добавляли соль – 0,5 %.

Экструдирование осуществляли с использованием двухшнекового экструдера Werner & Phleiderer 37 через матрицу с формующим отверстием прямоугольного сечения 25 мм шириной, 1,1 мм высотой. Стренг экструдата нарезался на хлебцы режущо-тянущим устройством CP-150.

Коэффициент вертикального расширения стренга определяли как соотношение толщины

стренга, выходящего из фильеры, к высоте формирующей щели матрицы.

При определении структурных свойств продукта использовали анализатор Brookfield CT3 Texture Analyser. На прибор устанавливали металлическую насадку-индентор в виде иглы. В образец продукта погружали насадку-индентор на глубину прокола 4 мм со скоростью погружения насадки 0,5 мм/с и фиксировали ответную реакцию тензодатчика прибора в виде структурно-механических характеристик: твердости образца и количества микро-разломов [22].

Анализ содержания белка осуществляли методом Кьельдаля на автоматической установке для определения азота Gerhardt Vadopest 10 с использованием автоматического титратора Mettler Toledo DL 15. Содержание пищевых волокон определяли ферментативно-гравиметрическим методом по ГОСТ Р 54014-2010². Содержание фенольных соединений определяли спектрофотометрически с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата, реактива Фолина-Чокальтеу и спектрофотометра Specord 50 Analytic Yena при длине волны 720 нм.

Дегустационная панель включала 22 дегустатора, для которых были разработаны дескрипторы, описывающие следующие характеристики продукции: общий внешний вид, цвет, вкус, текстура, наличие горечи в послевкусии. Каждый дескриптор оценивался по 5-балльной гедонистической шкале, где максимальному значению соответствовали наиболее привлекательные для дегустатора признаки. Сенсорную оценку проводили методом закрытой дегустации (слепого тестирования): образцы предварительно кодировали случайными числами, исключив любую информацию, позволяющую дегустаторам идентифицировать состав продукта.

Метод однофакторного дисперсионного анализа и апостериорный анализ по критерию Тьюки³ с применением пакета программ Statistica 6.0 использовали для оценки достоверности различия средних при $p < 0,05$. Применяли метод корреляционного анализа с вычислением коэффициента корреляции Пирсона r^4 .

²ГОСТ Р 54014-2010. Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом. М.: Стандартинформ. 2011. 12 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293805/4293805188.pdf>

³Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments. 10th ed. Wiley. Hoboken. NJ. USA, 2020. pp. 85–88.

⁴Ксендзенко Л. С., Бойко Л. А., Шишкин А. В. Элементы теории корреляции: учебное пособие для вузов. Владивосток: Дальневосточный ФУ, 2025. 71 с.

Результаты и их обсуждение. Смеси с разным содержанием высушенной зерно-черносмородиновой барды экструдировали при фиксированных значениях производительности, скорости вращения шнеков и влагосодержания в политропном режиме. В таблице 1 представлено влияние дозировок барды на зависимые режимные параметры экструзии: температуру, давление и момент сдвиговых

деформаций. В соответствии с представленными данными, внесение и увеличение дозировки зерно-черносмородиновой барды не оказывали значимого влияния на изменение температуры процесса и момент сдвиговых деформаций, при этом значимо снижалось давление в предматричной зоне с 4,5 до 3,5 МПа, что, вероятно, связано с изменением вязкоэластических свойств смеси.

Таблица 1 – Влияние дозировок зерно-черносмородиновой барды на режимные параметры экструзии зерновых смесей /

Table 1 – The influence of grain-blackcurrant stillage dosages on the extrusion parameters of grain mixtures

Дозировка % / Dosage, %	Влажность смеси, % / Moisture content, %	Температура экструзии, °C / Temperature of extrusion, °C	Давление, Мпа / Pressure, MPa	Момент сдвиговых деформаций, % / Torque, %
0 – контроль / control	17	157±2 ^a	4,5±0,2	41±2 ^a
5	17	155±1 ^a	4,0±0,1 ^a	40±2 ^a
10	17	155±1 ^a	4,0±0,1 ^a	40±1 ^a
15	17	155±1 ^a	3,5±0,1 ^b	38±2 ^a
20	17	155±1 ^a	3,5±0,1 ^b	40±1 ^a

Примечание: Различия между значениями, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, в каждом столбце статистически незначимы при $p > 0,05$ /

Note: Means followed by the same letters within a column are not significantly different at $p > 0.05$

Экструдирование всех смесей осуществлялось стабильно. Такие режимы экструзии обеспечили полноценную клейстеризацию крахмала без признаков пригорания или локального потемнения экструдата. На рисунке 1 представлены фотографии полученных экструзи-

рованных хлебцев с добавлением зерно-черносмородиновой барды. По фотографиям видно, что увеличение дозировки значительно изменяет цвет продукта, что обусловлено введением в состав экструдированной смеси антоциановых пигментов черной смородины.

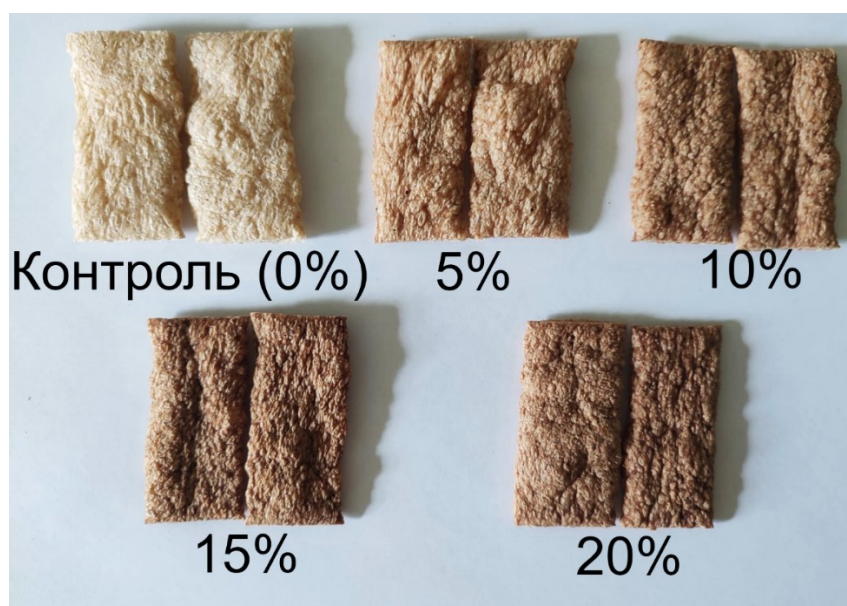
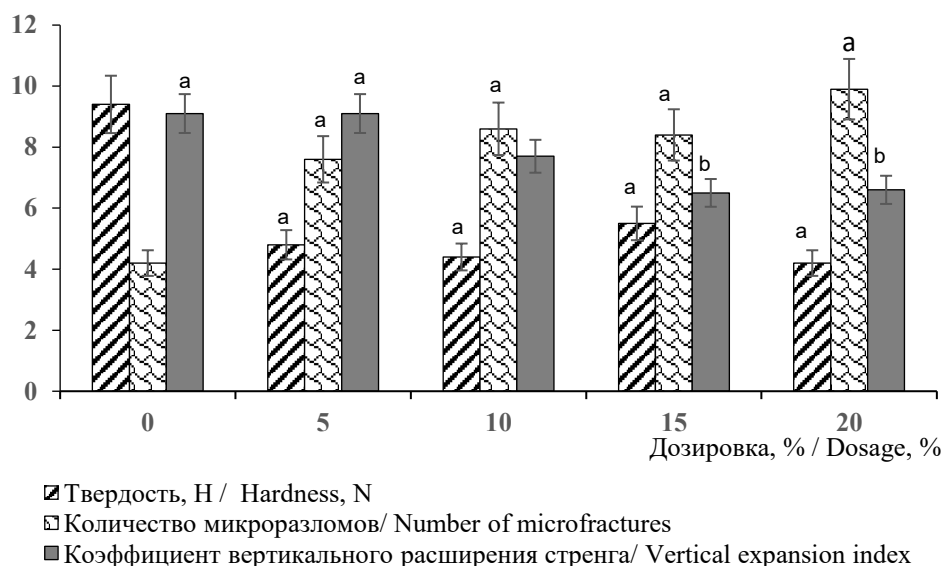


Рис. 1. Внешний вид хлебцев с добавлением зерно-черносмородиновой барды в разных дозировках /
Fig. 1. Crispbreads with the addition of grain-blackcurrant stillage in different dosages

На рисунке 2 представлены данные о влиянии дозировки зерно-черносмородиновой барды на физические характеристики полученных хлебцев. По показателю твердости отмечается выраженное снижение значений по сравнению с контролем – от 9,4 Н до 4,2–5,5 Н. Это указывает на размягчение структуры экструдатов под действием введенной добавки, которая содержит значительное количество нерастворимых пищевых волокон, лигнина и других балластных компонентов. Это может объясняться тем, что в процессе экструзии не происходит гелеобразования данных компонентов, и они частично дезорганизуют структуру крахмального расплава. В результате формируется менее монолитная, пористая и рыхлая структура, требующая меньшего усилия для дефор-

мации, что и фиксировалось как снижение твердости. При этом статистически достоверного различия ($p < 0,05$) твердости образцов с увеличением содержания барды не установлено.

Зерно-черносмородиновая барда вносит большое количество жестких растительных включений (клеточные оболочки, кожура, семенные оболочки), которые действуют как механические дефекты в структуре экструдата, кроме того, подобные частички выступают как центры парообразования при формировании пористой структуры экструдата при падении давления с предматричных значений до атмосферного. Эти факторы влияют на повышение количества микроразломов в структуре экструдата с 4,2 до 8,2–9,9, т. е. более чем в 2 раза, что свидетельствует о повышении хрупкости продуктов.



Примечание: Различия между значениями показателей, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, статистически незначимы при $p > 0,05$ /

Note: Means followed by the same letters within a column are not significantly different at $p > 0.05$

Рис. 2. Влияние дозровок зерно-черносмородиновой барды на структурно-механические характеристики экструдатов /

Fig. 2. The influence of grain-blackcurrant stillage dosages on the structural and mechanical characteristics of extrudates

По мере увеличения содержания барды с 0–5 до 15–20 % наблюдали снижение коэффициента вертикального расширения образцов – с 9,1 до 6,5–6,6. Это указывает на ухудшение способности к расширению экструдированного расплава, что является типичным следствием введения компонентов с высоким содержанием пищевых волокон. При этом можно отметить прямую корреляционную связь ($r = 0,89$) между снижением давления в предматричной зоне

и соответствующим снижением коэффициента вертикального расширения.

В совокупности полученные данные указывают, что добавление зерно-черносмородиновой барды оказывает смягчающее влияние на структуру экструдатов, снижает их способность к расширению и увеличивает хрупкость поверхности. Эти изменения важно учитывать при разработке рецептур с заданными текстурными характеристиками.

В таблице 2 представлены изменения пищевой и химической ценности экструдатов в зависимости от дозировки барды. С увеличением её содержания до 20 % отмечается достоверный рост массовой доли белка (с 12,5 до 17,1 г/100 г) и пищевых волокон (с 5,3 до 11,3 г/100 г), что свидетельствует об обогащении продукта функциональными нутриентами. В соответствии с ГОСТ Р 55577–2013⁵ введение в рецептуру более 5 % барды обеспечивает

соответствие критерию вынесения на этикеточную надпись признака «продукт с высоким содержанием пищевых волокон» (более 6 г/100 г продукта). Зерно-черносмородиновая барда характеризуется высоким содержанием фенольных соединений 1368,9 мг/кг, и с ростом дозировки в рецептуре отмечается достоверное увеличение их содержания, что указывает на эффективность применения барды как источника биологически активных веществ.

Таблица 2 – Содержание нутриентов в экструдированных хлебцах в зависимости от дозировок зерно-черносмородиновой барды /

Table 2 – Nutrient content in extruded crispbreads depending on the dosage of grain-blackcurrant stillage

<i>Дозировка, % / Dosage, %</i>	<i>Белок, г/100 г / Protein, g/100 g</i>	<i>Пищевые волокна, г/100 г / Dietary fibers, g/100 g</i>	<i>Фенольные вещества, мг/кг / Phenolic compounds, mg/kg</i>
0 – контроль / control	12,5±0,6 ^a	5,3±0,2	216,0±10,3
5	12,6±0,6 ^a	7,5±0,3	275,0±13,8
10	13,7±0,7 ^{ab}	9,2±0,4	350,5±17,5
15	15,2±0,9 ^{bc}	10,5±0,5 ^a	447,3±22,3
20	17,1±1,1 ^c	11,3±0,6 ^a	558,0±26,8

Примечание: Различия между значениями, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, в каждом столбце статистически незначимы при $p < 0.05$ /

Note: Means followed by the same letters within a column are not significantly different at $p < 0.05$

При этом установлено, что экструзия не оказывает негативного влияния на содержание фенольных соединений и не ведет к их потери. Более того, на рисунке 3 представлены графики увеличения фенольных соединений согласно экспериментальным данным и расчетные значения относительно контроля и содержания фенольных соединений в неэкструдированной зерно-черносмородиновой барде. Можно отметить, что с ростом дозировки барды наблюдается увеличение содержания фенольных соединений относительно расчетных или ожидаемых значений до 19 %. Сохранность и стабильность фенольных соединений в процессе экструзии зависит от комплекса факторов, включая ботаническое происхождение сырья, степень его переработки, конструктивные характеристики экструзионного оборудования и режимные параметры [23]. Комплексная переработка жмыха черной смородины в технологии дистиллятов с использованием ферментных препаратов на стадии подготовки сусле, по-видимому, способствует деструкции высокомоле-

кулярных форм связанных полифенолов. Этот эффект усиливается высокотемпературной экструзией, что в совокупности приводит к значительному увеличению степени экстрагируемости фенольных соединений.

Полученные данные свидетельствуют о возможности использования черносмородиновой барды в качестве компонента, повышающего функциональную ценность экструдированных продуктов за счёт полифенольных соединений.

На рисунке 4 представлены результаты сенсорной оценки экструдированных хлебцев по пятибалльной шкале с различным содержанием зерно-черносмородиновой барды по следующим показателям: общий внешний вид, цвет, вкус, текстура и наличие горечи в послевкусии. Показатели общего внешнего вида демонстрируют стабильные значения (4,4–4,6 балла) независимо от дозировки барды. Это указывает на то, что добавление компонента не оказывает отрицательного влияния на визуальную привлекательность продукта. Цвет также сохраняется

⁵ГОСТ Р 55577–2013. Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности. М.: Стандартинформ. 2014. 24 с.

URL: https://roskachestvo.gov.ru/upload/functional-products/GOST_producty_pischevie_specializirovannie.pdf

на высоком уровне во всех образцах (4,4–4,6 балла), что может свидетельствовать о равномерном распределении пигментов черной смородины в матрице и отсутствии признаков термического повреждения в процессе экструзии. Наибольшее улучшение вкуса отмечено при внесении 10 % барды (4,4 балла), что вероятно связано с оптимальным соотношением между

сладостью, кислотностью и характерными ягодными нотами. При более низких (5 %) и более высоких (15–20 %) дозировках оценки вкуса снижаются до 3,8 и 3,9–4,1 соответственно, что может указывать на дисбаланс вкусовых характеристик — либо избыточную терпкость, либо упрощение вкусового профиля.

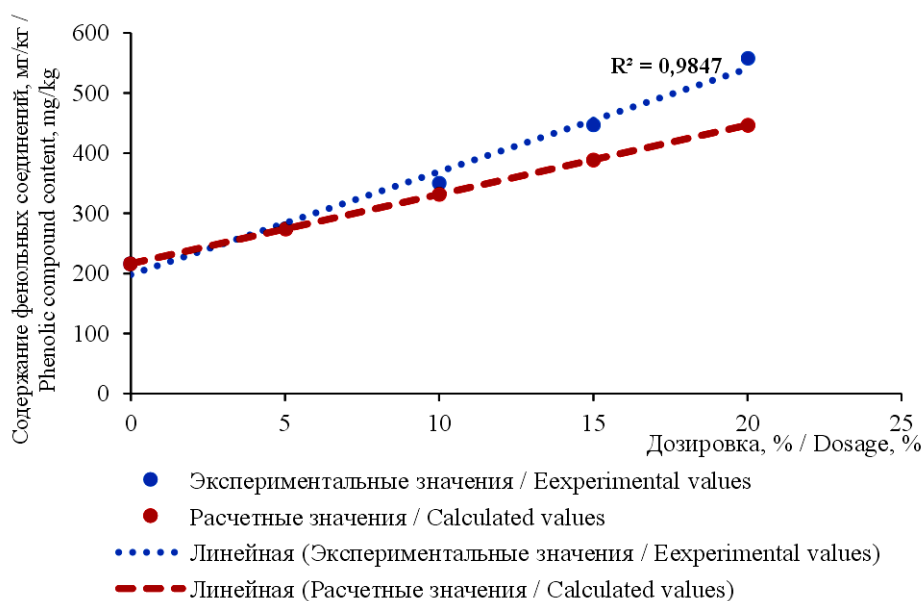


Рис. 3. Сравнение экспериментальных и расчетных значений содержания фенольных соединений в экструдированных хлебцах в зависимости от дозировок зерно-черносмородиновой барды /

Fig.3. Comparison of experimental and calculated values of the content of phenolic compounds in extruded crispbreads depending on the dosage of grain-blackcurrant stillage

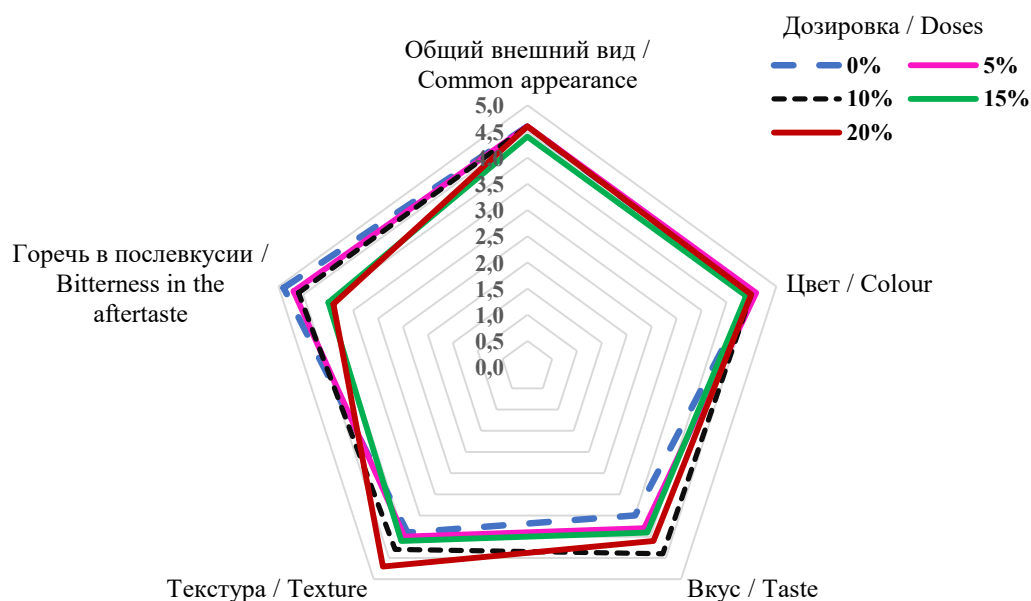


Рис. 4. Сенсорная оценка пшеничных хлебцев с различными дозировками зерно-черносмородиновой барды /

Fig. 4. Sensory evaluation of wheat crispbreads with different doses of grain-blackcurrant stillage

Оценка текстуры возрастает от 3,9 (контрольный образец) до 4,7 при 20 % барды и отражает улучшение хрустящих характеристик, что коррелирует с показателями инструментальной оценки. Горечь в послевкусии демонстрирует отчётливую отрицательную динамику: от 4,9 (контроль) до 3,9 (20 %), что свидетельствует о нарастании горечи при увеличении доли черносмородиновой барды. Причиной может служить присутствие полифенолов (в частности, танинов) и других горьких соединений, концентрирующихся в барде после переработки жмыха ягод. Оптимальной, с точки зрения вкусовой и текстурной сбалансированности, является дозировка 10 % барды: наивысший балл по вкусу (4,4), улучшенная текстура (4,3) и сохранение визуальной привлекательности. При 20 % барды наблюдается улучшение текстуры, но усиливается горечь в послевкусии, что может снизить привлекательность продукта для потребителей. Добавка барды в количестве до 15 % может считаться приемлемой по комплексу сенсорных характеристик без выраженного ухудшения.

Заключение. Рациональная утилизация вторичных ресурсов пищевой промышленности является ключевым условием развития безотходных технологий, а с учетом химического состава этих ресурсов способствует снижению стоимости ингредиентов для рынка функциональных продуктов. Зерно-черносмородиновая барда, образующаяся после получения дистиллятов, содержит высокое количество пищевых волокон, белка и фенольных соединений. Включение этого ингредиента в массовые продукты, такие как экструдированные хлебцы из пшеничной муки, позволяет одновременно решить задачу утилизации

и обогащения рациона биологически активными веществами.

В ходе исследования обоснована технологическая применимость зерно-черносмородиновой барды как функционального ингредиента для получения экструдированных хлебцев. Введение вторичного сырья в экструдированную смесь на основе пшеничной муки не оказывало негативного влияния на режимы экструзии. Установлены снижение твёрдости хлебцев, значительный рост количества микроразломов как характеристики хрусткости продукта, уменьшение коэффициента вертикального расширения. С точки зрения пищевой ценности, в образцах с 5–20 % барды отмечено заметное обогащение хлебцев пищевыми волокнами до 7,5–11,3 г/100 г и белком до 12,6–17,1 г/100 г продукта. Отмечается отсутствие потери фенольных соединений в процессе экструзии. Сенсорная оценка подтвердила высокий уровень характеристик продукта: рациональным является содержание барды 10 %, при котором хлебцы получили максимальные оценки за вкус (4,4 из 5) и текстуру (4,3), сочетая при этом сбалансированный вкус и хрустящую консистенцию. Увеличение доли барды до 20 % сопровождалось нарастанием горечи в послевкусии (оценка падает до 3,9), что может потребовать корректировки рецептуры (добавки подсластителей или регуляторов кислотности) при стремлении к ещё большему обогащению.

Полученные результаты демонстрируют экологическую, технологическую и диетологическую целесообразность их промышленной апробации на линиях производства экструдированных продуктов и подтверждают потенциал зерно-черносмородиновой барды как ценного функционального ингредиента.

Список литературы

1. Римарева Л. В., Сербя Е. М., Соколова Е. Н., Игнатова Н. И., Фурсова Н. А. К вопросу о целесообразности использования ягод черной смородины для получения оригинальных зерно-фруктовых дистиллятов. Пищевая промышленность. 2023;(5):61–63. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.017> EDN: YQKFEI
2. Соколова Е. Н., Курбатова Е. И., Борщева Ю. А., Римарева Л. В., Сербя Е. М. Биотехнология получения напитков с повышенным содержанием биологически ценных компонентов на основе ферментализатов растительного сырья. Пищевая промышленность. 2019;(4):95–97. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10049> EDN: WQVDXT
3. Šimonėlienė A. Distillate composition from fermented black currant, aronia, rhubarb, apple, and raspberry wines. Mokslas taikomieji tyrimai Lietuvos kolegijose. 2023;19(1):246–252. DOI: <https://doi.org/10.59476/mtt.v1i19.593>
4. González E. A., González E. A., Agrasar A. T., Pastrana Castro L. M., Fernández I. O., Guerra N. P. Production and Characterization of Distilled Alcoholic Beverages Obtained by Solid-State Fermentation of Black Mulberry (*Morus nigra* L.) and Black Currant (*Ribes nigrum* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2010;58(4):2529–2535. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf9037562>
5. Kelanne N., Yang B., Liljenbäck L., Laaksonen O. Phenolic compound profiles in black currant beverages fermented with yeasts. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2020;68(37):10128–10141. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c03354>
6. Patelski A. M., Dziekońska-Kubczak U., Ditrych M. The fermentation of orange and black currant juices by the probiotic yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*. Applied Sciences. 2024;14(7):3009. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14073009>

7. Wang Z., Svyantek A., Miller Z., Watrelot A. A. Assessment of Sequential Yeast Inoculation for Blackcurrant Wine Fermentation. *Fermentation*. 2024;10(4):184. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation10040184>
8. Dumitrașcu L., Patrascu L., Banu I., Ina V. The influence of processing on bioactive compounds of berries. *Applied Sciences*. 2024;14(19):8713. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14198713>
9. Drosou C., Kyriakopoulou K., Bimpilas A., Tsimogiannis D., Krokida M. A comparative study on different extraction techniques to recover red grape pomace polyphenols from vinification byproducts. *Industrial Crops and Products*. 2015;75(Part B):141–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.063>
10. Denev P., Kratchanova M., Číž M., Lojek A., Vašíček O., Nedelcheva P. et al. Biological activities of selected polyphenol-rich fruits related to immunity and gastrointestinal health. *Food Chemistry*. 2014;157:37–44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.022>
11. Gagnet M., Archaina D. A., Salas M. P., Leiva G. E., Salvatori D. M., Schebor C. Gluten-free cookies added with fibre and bioactive compounds from blackcurrant residue. *International Journal of Food Science & Technology*. 2021;56(4):1734–1740. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14798>
12. Reißner A. M., Brunner M., Struck S., Rohm H. Thermo-mechanical processing of fibre-rich blackcurrant pomace to modify techno-functional properties. *European Food Research and Technology*. 2022;248:2359–2368. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04052-5>
13. Soja J., Combrzyński M., Oniszczyk T., Gancarz M., Oniszczyk A. Extrusion-Cooking Aspects and Physical Characteristics of Snacks Pellets with Addition of Selected Plant Pomace. *Applied Sciences*. 2024;14(19):8754. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14198754>
14. Шариков А. Ю., Иванов В. В., Амелякина М. В., Соколова Е. Н., Ионов В. В., Сербя Е. М. Влияние влаго-содержания на режимы экструзии и физико-химические показатели экструдатов с добавлением ферментализата жмыха аронии черноплодной. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2024;(3):66–71. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262724030135> EDN: FUSMDX
15. Wang S., Gu B. J., Ganjyal G. M. Impacts of the Inclusion of Various Fruit Pomace Types on the Expansion of Corn Starch Extrudates. *LWT*. 2019;110:223–230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.094>
16. Gumul D., Berski W., Zięba T. The Influence of Fruit Pomes on Nutritional, Pro-Health Value and Quality of Extruded Gluten-Free Snacks. *Applied Sciences*. 2023;13(8):4818. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13084818>
17. Сербя Е. М., Игнатова Н. И., Соколова Е. Н., Микуляк А. А., Римарева Л. В. Обоснование перспективы использования плодово-ягодного сырья в производстве оригинальных дистиллятов. *Вопросы питания*. 2023;92(S5(549)):256–257.
18. Никитенко В. Д., Туршатов М. В., Соловьев А. О., Леденев В. П., Кононенко В. В., Абрамова И. М. Сравнительное исследование различных спиртовых дрожжей для улучшения технологических и органолептических характеристик зерно-яблочных дистиллятов. *Крахмал и его производные*. 2024;(3(5)):12–16. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=75186694> EDN: HROILS
19. Кириллов Е. А., Никитенко В. Д., Туршатов М. В., Кононенко В. В., Соловьев А. О. Исследования по получению дистиллятов из сброженного зерно-фруктового сырья на аппаратах периодического действия. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2024;86(3):89–95. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-3-89-95> EDN: HSYMPL
20. Соловьев А. О., Туршатов М. В., Кононенко В. В., Погоржельская Н. С., Павленко С. В. Переработка клубней топинамбура в дистилляты для производства оригинальных спиртных напитков. *Индустрия питания*. 2022;7(4):36–43. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-4-4> EDN: ВААТРN
21. Алексеев В. В., Кириллов Е. А., Туршатов М. В., Соловьев А. О. Дистилляционные аппараты с элементами ректификационных колонн. Теоретические и практические аспекты развития спиртовой и ликероводочной промышленности: сб. научн. тр. по мат-лам Международн. научн.-практ. семинара. М.: ООО «Первое экономическое изд-во», 2022. С. 24–30. DOI: <https://doi.org/10.18334/9785912924460.24-30> EDN: KWYYDQ
22. Шариков А. Ю., Степанов В. И. Инструментальные методы исследования текстуры экструдированных продуктов. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2015;(5(34)):3–9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24340847> EDN: UMQXSF
23. Šárka E., Sluková M., Henke S. Changes in Phenolics during Cooking Extrusion: A Review. *Foods*. 2021;10(9):2100. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10092100>

References

1. Rimareva L. V., Serba E. M., Sokolova E. N., Ignatova N. I., Fursova N. A. On the question of the expediency of using black currant berries to obtain original grain-fruit distillates. *Pishcheyaya promishlennost' = Food Industry*. 2023;(5):61–63. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.017>
2. Sokolova E. N., Kurbatova E. I., Borshcheva Yu. A., Rimareva L. V., Serba E. M. Biotechnology for producing beverages with a high content of biologically valuable components based on fermentolysates of plant raw materials. *Pishcheyaya promishlennost' = Food Industry*. 2019;(4):95–97. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10049>
3. Šimonėlienė A. Distillate composition from fermented black currant, aronia, rhubarb, apple, and raspberry wines. *Mokslas taikomieji tyrimai Lietuvos kolegijose*. 2023;19(1):246–252. DOI: <https://doi.org/10.59476/mtt.v1i19.593>
4. González E. A., González E. A., Agrasar A. T., Pastrana Castro L. M., Fernández I. O., Guerra N. P. Production and Characterization of Distilled Alcoholic Beverages Obtained by Solid-State Fermentation of Black Mulberry (*Morus nigra* L.) and Black Currant (*Ribes nigrum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010;58(4):2529–2535. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf9037562>

5. Kelanne N., Yang B., Liljenbäck L., Laaksonen O. Phenolic compound profiles in black currant beverages fermented with yeasts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020;68(37):10128–10141. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c03354>
6. Patelski A. M., Dziekońska-Kubczak U., Ditrych M. The fermentation of orange and black currant juices by the probiotic yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *bouardii*. *Applied Sciences*. 2024;14(7):3009. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14073009>
7. Wang Z., Svyantek A., Miller Z., Watrelot A. A. Assessment of Sequential Yeast Inoculation for Blackcurrant Wine Fermentation. *Fermentation*. 2024;10(4):184. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation10040184>
8. Dumitrașcu L., Patrascu L., Banu I., Ina V. The influence of processing on bioactive compounds of berries. *Applied Sciences*. 2024;14(19):8713. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14198713>
9. Drosou C., Kyriakopoulou K., Bimpilas A., Tsimogiannis D., Krokida M. A comparative study on different extraction techniques to recover red grape pomace polyphenols from vinification byproducts. *Industrial Crops and Products*. 2015;75(Part B):141–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.063>
10. Denev P., Kratchanova M., Číž M., Lojek A., Vašíček O., Nedelcheva P. et al. Biological activities of selected polyphenol-rich fruits related to immunity and gastrointestinal health. *Food Chemistry*. 2014;157:37–44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.022>
11. Gagneten M., Archaina D. A., Salas M. P., Leiva G. E., Salvatori D. M., Schebor C. Gluten-free cookies added with fibre and bioactive compounds from blackcurrant residue. *International Journal of Food Science & Technology*. 2021;56(4):1734–1740. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14798>
12. Reißner A. M., Brunner M., Struck S., Rohm H. Thermo-mechanical processing of fibre-rich blackcurrant pomace to modify techno-functional properties. *European Food Research and Technology*. 2022;248:2359–2368. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04052-5>
13. Soja J., Combrzyński M., Oniszczyk T., Gancarz M., Oniszczyk A. Extrusion-Cooking Aspects and Physical Characteristics of Snacks Pellets with Addition of Selected Plant Pomace. *Applied Sciences*. 2024;14(19):8754. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14198754>
14. Sharikov A. Yu., Ivanov V. V., Amelyakina M. V., Sokolova E. N., Ionov V. V., Serba E. M. The influence of moisture content on extrusion modes and physicochemical parameters of extrudates with the addition of chokeberry pomace hydrolysate. *Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2024;(3):66–71. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262724030135>
15. Wang S., Gu B. J., Ganjyal G. M. Impacts of the Inclusion of Various Fruit Pomace Types on the Expansion of Corn Starch Extrudates. *LWT*. 2019;110:223–230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.094>
16. Gumul D., Berski W., Zięba T. The Influence of Fruit Pomaces on Nutritional, Pro-Health Value and Quality of Extruded Gluten-Free Snacks. *Applied Sciences*. 2023;13(8):4818. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13084818>
17. Serba E. M., Ignatova N. I., Sokolova E. N., Mikulyak A. A., Rimareva L. V. Substantiation of the prospects of using fruit and berry raw materials in the production of original distillates. *Voprosi pitaniya* = Problems of Nutrition. 2023;92(S5(549)):256–257. (In Russ.).
18. Nikitenko V. D., Turshatov M. V., Solovev A. O., Ledenev V. P., Kononenko V. V., Abramova I. M. Comparative study of various alcoholic yeasts to improve the technological and organoleptic characteristics of grain-apple distillates. *Krakhmal i ego proizvodnie* = Starch and its Derivatives. 2024;(3(5)):12–16. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=75186694>
19. Kirillov E. A., Nikitenko V. D., Turshatov M. V., Kononenko V. V., Solovyev A. O. Research on the obtaining of distillates from fermented grain and fruit raw materials using periodic devices. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernikh tekhnology* = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2024;86(3):89–95. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-3-89-95>
20. Solovyov A. O., Turshatov M. V., Kononenko V. V., Pogorzelskaya N. S., Pavlenko S. V. Processing of artichoke tubers into distillates for the original alcoholic beverages production. *Industriya pitaniya* = Food Industry. 2022;7(4):36–43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-4-4>
21. Alekseev V. V., Kirillov E. A., Turshatov M. V., Solovyov A. O. Distillation apparatus with elements of rectifying columns. Theoretical and practical aspects of the development of the alcohol and distillery industry: collection of scientific papers on the proceedings of the international scientific and practical seminar. Moscow: OOO «Pervoe ekonomicheskoe izd-vo», 2022. pp. 24–30. DOI: <https://doi.org/10.18334/9785912924460.24-30>
22. Sharikov A. Yu., Stepanov V. I. Instrumental methods of texture analysis of extruded products. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnikh pishchevikh produktov*. 2015;(5(34)):3–9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24340847>
23. Šárka E., Sluková M., Henke S. Changes in Phenolics during Cooking Extrusion: A Review. *Foods*. 2021;10(9):2100. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10092100>

Сведения об авторах

Шариков Антон Юрьевич, кандидат техн. наук, заведующий отделом оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

✉ **Амелякина Мария Валентиновна**, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>, e-mail: foodbiotech@ya.ru

Голубев Алексей Алексеевич, инженер-технолог 1-й кат., отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3847-6472>

Соколова Елена Николаевна, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6084-7786>

Ионов Владислав Витальевич, аспирант, инженер-технолог отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7383-8707>

Поливановская Дарья Викторовна, ведущий инженер-технолог отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6078-9280>

Иванов Виктор Витальевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

Information about the authors

Anton Yu. Sharikov, PhD in Engineering, Head of the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

✉ **Maria V. Amelyakina**, PhD in Engineering, senior researcher, the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>, e-mail: foodbiotech@ya.ru

Alexey A. Golubev, engineer-technologist 1 cat., the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-b, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3847-6472>

Elena N. Sokolova, PhD in Biology, leading researcher, the Department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6084-7786>

Vladislav V. Ionov, postgraduate student, process engineer, the Department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7383-8707>

Daria V. Polivanovskaya, leading engineer-technologist, the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-b, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6078-9280>

Viktor V. Ivanov, PhD in Engineering, leading researcher, the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1332-1341>

УДК 633.853.494:631.82

Оптимизация применения удобрений под яровой рапс в лесостепи Центрального федерального округа России© 2025. В. М. Лукомец^{1,2}, В. П. Савенков¹, А. С. Бушнев¹✉¹ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В. С. Пустовойта», г. Краснодар, Российская Федерация,²ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П. П. Лукьяненко», г. Краснодар, Российская Федерация

Представлены результаты исследований 2023-2024 гг. по влиянию удобрений на урожайность маслосемян, сбор растительного масла, кормового белка ярового рапса сорта Форпост КЛ и экономическую эффективность технологии его возделывания в условиях Липецкой области (лесостепь Центрального федерального округа РФ). Варианты полевого опыта: контроль – без удобрений; N_{40} + некорневая подкормка (НП); N_{60} + НП; $N_{40}P_{40}K_{40}$; $N_{80}P_{80}K_{80}$; $N_{40}P_{40}K_{40} + N_{40}$; $N_{40}P_{40}K_{40} + N_{40} + НП$; $N_{40}P_{40}K_{40} + НП$, $N_{80}P_{80}K_{80} + N_{40} + НП$. Полное минеральное удобрение вносили осенью под вспашку, азотное – весной под предпосевную культивацию. Для некорневой подкормки в межфазный период «стеблевание – начало бутонизации» ярового рапса использовали Биостим Масличный в дозе 2,0 л/га. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый. В среднем за годы исследований при возделывании ярового рапса без удобрений урожайность семян составила 1,80 т/га, которая статистически значимо увеличивалась на 0,26–0,74 т/га при внесении удобрений. Максимальные значения сформировались при агротехнологиях с внесением $N_{80}P_{80}K_{80}$ (2,38 т/га); $N_{40}P_{40}K_{40} + N_{40} + НП$ (2,42 т/га); $N_{80}P_{80}K_{80} + N_{40} + НП$ (2,54 т/га). В этих вариантах опыта также получен наибольший сбор с гектара масла (1049–1082 кг) и белка (611–668 кг). Более высокие чистый доход – 33720 руб/га и рентабельность – 94 %, низкую себестоимость 1 тонны маслосемян – 15446 руб. обеспечила технология возделывания ярового рапса (урожайность 2,32 т/га), где осенью под вспашку вносили $N_{40}P_{40}K_{40}$ и проводили некорневую подкормку органоминеральным удобрением Биостим Масличный.

Ключевые слова: *Brassica napus* L., макро- и микроудобрения, урожайность, химический состав семян, сбор масла и белка, экономическая эффективность

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-15-2025-246.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лукомец В. М., Савенков В. П., Бушнев А. С. Оптимизация применения удобрений под яровой рапс в лесостепи Центрального федерального округа России. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025;26(6):1332–1341. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1332-1341>

Поступила: 17.04.2025

Принята к публикации: 02.12.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Rational use of fertilizers for spring rapeseed in the forest-steppe of the Central Federal District of Russia© 2025. Vyacheslav M. Lukomets^{1, 2}, Valery P. Savenkov¹, Alexander S. Bushnev¹✉¹V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Krasnodar, Russian Federation,²National Center of Grain named after P. P. Lukyanenko, Krasnodar, Russian Federation

The article presents the results of 2023-2024 study on the effect of fertilizers on the yield of oil seeds, vegetable oil and feed protein in spring rapeseed of the 'Forpost KL' cultivar as well as on the economic efficiency of its cultivation technology in the Lipetsk region (in the forest-steppe zone of the Central Federal District of the Russian Federation). The field experiment variants were as follows: control – without fertilizers; N_{40} + foliar fertilization (FF); N_{60} + FF; $N_{40}P_{40}K_{40}$; $N_{80}P_{80}K_{80}$; $N_{40}P_{40}K_{40} + N_{40}$; $N_{40}P_{40}K_{40} + N_{40} + FF$; $N_{40}P_{40}K_{40} + FF$, $N_{80}P_{80}K_{80} + N_{40} + FF$. Complete mineral fertilizer was applied in autumn before plowing; nitrogen fertilizer was applied in spring before pre-sowing cultivation. Biostim Maslichny at a dose of 2.0 l/ha was used for foliar fertilization during the period between spring rapeseed stem extension and the beginning of budding. The soil of the experimental plot was heavy loamy leached chernozem. On average, over the years of the research, the seed yield of spring rapeseed cultivated without fertilizers was 1.80 t/ha, increasing by a statistically significant 0.26–0.74 t/ha when fertilizers were applied. The maximum values were obtained through agricultural practices involving the application of $N_{80}P_{80}K_{80}$ (2.38 t/ha),

N₄₀P₄₀K₄₀ + N₄₀ + FF (2.42 t/ha) and N₈₀P₈₀K₈₀ + N₄₀ + FF (2.54 t/ha). These variants also yielded the highest oil and protein per-hectare yields (1049–1082 kg/ha and 611–668 kg/ha, respectively). However, the highest net income (33,720 rubles/ha), profitability (94 %) and low cost per ton of oil seeds (15,446 rubles) were achieved using a spring rapeseed cultivation technology with the yield of 2.32 t/ha, which involved applying N₄₀P₄₀K₄₀ in autumn before plowing and carrying out foliar fertilization with the organic-mineral fertilizer Biostim Maslichny.

Keywords: *Brassica napus L., macro- and microfertilizers, yield, chemical composition of seeds, protein and oil yield, economic efficiency*

Acknowledgments: the research was carried out with financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement No. 075-15-2025-246.

The authors thank the reviewers for their valuable contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of Interest: the authors declared no conflicts of interest.

For citations: Lukomets V. M., Savenkov V. P., Bushnev A. S. Rational use of fertilizers for spring rapeseed in the forest-steppe of the Central Federal District of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1332–1341. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1332-1341>

Received: 17.04.2025 Accepted for publication: 02.12.2025 Published online: 26.12.2025

Яровой рапс одна из основных масличных и кормовых культур за рубежом и в Российской Федерации, в семенах которого накапливается до 48 % сырого жира и 30 % протеина [1, 2, 3]. При промышленной переработке семян получают ценное растительное масло для пищевых, технических, энергетических и других целей, а отходами являются жмыхи и шроты с высоким содержанием (до 40 % и более) кормового белка для сельскохозяйственных животных, хорошо переваримого и сбалансированного по незаменимым аминокислотам. Поэтому в настоящее время в нашей стране важной задачей является разработка и внедрение в сельскохозяйственное производство новых технологий возделывания ярового рапса, обеспечивающих наибольший сбор маслосемян, растительного масла и кормового белка [4, 5].

Яровой рапс характеризуется высокой потребностью в элементах питания, которых на формирование единицы урожая с учетом выхода побочной продукции потребляет в 1,5–2,0 раза больше, чем зерновые культуры. Поэтому при его возделывании необходимо применение оптимальных доз минеральных удобрений в соответствии с плодородием почвы [6, 7, 8]. Большинство проведенных исследований показало, что яровой рапс наиболее отзывчив на применение азотных удобрений и в меньшей мере – фосфорных и калийных [9, 10, 11]. Кроме того, для хорошего роста и развития этой культуры необходимы также макроэлементы – сера, кальций, магний и микроэлементы – бор, марганец, медь и другие. В связи с этим для формирования наибольшего урожая семян ярового рапса нужна сбалансированность его питания по макро- и микроэлементам [12, 13, 14].

Удобрения, повышая урожай маслосемян ярового рапса, оказывают определенное влияние

на его качество – содержание сырого жира и протеина. В большинстве исследований, проведенных в различных почвенно-климатических условиях, установлено, что применение под эту культуру азотных удобрений, прежде всего в повышенных дозах, несколько снижает масличность семян и увеличивает накопление в них белковых веществ. В то же время внесение фосфорных, калийных и других макро- и микроудобрений оказывает малозначительное и нестабильное влияние на качество урожая семян ярового рапса. При этом выявлено, что содержание жира и протеина в семенах в основном обусловлено особенностями сорта или гибрида, агротехники, почвенно-климатических, погодных условий и другими факторами [15, 16, 17].

Для практического использования новых агротехнологий сельскохозяйственных культур необходимо, чтобы они были экономически высокоэффективны. Применение минеральных удобрений, особенно повышенных доз, под яровой рапс из-за высоких рыночных цен на них резко увеличивает производственные затраты на его возделывание. Эти дополнительные затраты не всегда окупаются стоимостью полученной прибавки урожайности культуры. Отсюда следует, что рациональное применение макро- и микроудобрений под яровой рапс должно обеспечивать не только высокие урожай и качество маслосемян, но и прежде всего наибольшую экономическую эффективность его технологии возделывания.

Анализ опубликованных научных работ показал, что влияние различных доз и сроков внесения минеральных удобрений, а также некорневой подкормки посевов органоминеральным препаратом Биостим Масличный на сбор семян, растительного масла и кормового белка ярового рапса и экономическую эффективность технологии его возделывания

в условиях лесостепи ЦФО России ранее изучалось недостаточно. Поэтому проведение таких исследований в этом регионе представляют большой научно-практический интерес и актуальность.

Цель исследований – изучить влияние различных доз и сроков внесения минеральных удобрений и некорневой подкормки органоминеральным удобрением с росторегулирующим действием Биостим Масличный в межфазный период «стеблевание – начало бутонизации» на урожайность семян, сбор растительного масла и кормового белка ярового рапса, определить экономическую эффективность технологий его возделывания в почвенно-климатических условиях лесостепи ЦФО Российской Федерации.

Научная новизна – установлены оптимальные дозы минеральных удобрений и целесообразность проведения некорневой подкормки при возделывании нового сорта ярового рапса Форпост КЛ, устойчивого к имидазолиномам, в почвенно-климатических условиях Липецкой области.

Материал и методы. Исследования проводили в Липецком научно-исследовательском институте рапса – филиале ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» в отделе технологий возделывания рапса и других сельскохозяйственных культур.

В полевом опыте 2023-2024 гг. возделывали первый гербицидоустойчивый (к имидазолиномам) перспективный сорт ярового рапса отечественной селекции Форпост КЛ, который включен в Госреестр в 2022 г.

Схема полевого опыта:

1. Контроль – без удобрений.
2. N₄₀ весной + некорневая подкормка (НП).
3. N₆₀ весной + НП.
4. N₄₀P₄₀K₄₀ осенью.
5. N₈₀P₈₀K₈₀ осенью.
6. N₄₀P₄₀K₄₀ осенью + N₄₀ весной.

7. N₄₀P₄₀K₄₀ осенью + N₄₀ весной + НП.

8. N₄₀P₄₀K₄₀ осенью + НП.

9. N₈₀P₈₀K₈₀ осенью + N₄₀ весной + НП.

При выборе доз и сроков внесения удобрений основывались на обеспеченности почвы и потребности культуры в элементах питания. Изучаемые дозы полного минерального удобрения (нитроаммофоска, марка 15:15:15) вносили осенью под вспашку, азотного (аммиачная селитра, N = 34,6 %) – весной под предпосевную культивацию, некорневую подкормку осуществляли в межфазный период «стеблевание – начало бутонизации» ярового рапса органоминеральным удобрением с росторегулирующим действием Биостим Масличный в дозе 2,0 л/га (ЗАО «Щелково Агрохим»), которое содержит свободные аминокислоты растительного происхождения, макро- и микроэлементы – азот (1,9 %), серу (8,0 %), магний (3,0 %), медь (0,01 %), бор (0,7 %), цинк (0,2 %) и некоторые другие¹.

Повторность опыта четырехкратная. Общая площадь делянки 60 м², учетная – 40 м². Сорт ярового рапса Форпост КЛ является устойчивым к имидазолиномам, поэтому для защиты его посевов от сорняков в межфазный период 3-5 настоящих листьев применяли гербицид Илион, МД (1,2 л/га). В полевом опыте использовали технологию возделывания ярового рапса (за исключением применения изучаемых удобрений), рекомендованную для лесостепи ЦФО Российской Федерации².

Полевые исследования проводили по общепринятой методике³. При посеве делянок ярового рапса использовали селекционную сеялку СУ-10. Уборку урожая с делянок осуществляли в фазу полной спелости семян культуры комбайном Сампо-130. Сразу после обмолота определяли массу, влажность и чистоту семян⁴. Урожайные данные приводили к стандартной 7%-й влажности и 100%-й чистоте. Определяли содержание сырого жира по Сокслету⁵ и протеина – по Кьельдалю⁶ в семенах ярового рапса.

¹Биостим масличный. [Электронный ресурс]. URL: https://betaren.ru/catalog/spetsialnye-udobreniya/aminokislotnye-biostimulyatory/biostim_masli/ (дата обращения 01.07.2025)

²Карпачев В. В., Савенков В. П., Горшков В. И., Харламов С. А., Ревякин Е. Л., Гоголев Г. А. Перспективная ресурсосберегающая технология производства ярового рапса: методические рекомендации. М.: Росинформагротех, 2008. 60 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30287953>

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1985. 416 с.

⁴ГОСТ 12037-81. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения чистоты и отхода семян. М.: Стандартинформ, 2011. 20 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294838/4294838876.pdf>

⁵ГОСТ 13496-15-2016. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293751/4293751219.pdf>

⁶ГОСТ 13496.4-93. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. М.: Стандартинформ, 2011. 17 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294837/4294837763.pdf>

При математической обработке использовали дисперсионный анализ данных однофакторного полевого опыта с однолетними культурами⁷.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый с агрохимической характеристикой слоя 0–20 см: гумус по методу Тюрина – 6,3–6,9 %; рН_{кол.} – 4,8–5,1; гидролитическая кислотность – 6,27–7,77 мг-экв/100 г почвы, содержание подвижных форм (по Чирикову) фосфора – 86–106 и калия – 98–122 мг/кг почвы.

Полевые исследования проводили в Липецком районе Липецкой области, то есть в условиях умеренно-континентального климата лесостепи ЦФО Российской Федерации. По среднесуточным данным Липецкого ЦГМС, здесь в мае, июне, июле и августе среднесуточная температура воздуха составляет 14,4; 17,9; 19,2 и 17,9 °С, сумма осадков – 49, 62, 71 и 54 мм осадков, гидротермический коэффициент по Селянинову⁸ (ГТК) – 1,10; 1,15; 1,19 и 0,97 соответственно. При этом в целом за май – август при среднесуточной температуре воздуха 17,3 °С выпадает 236 мм осадков (ГТК = 1,11). В годы проведения исследований гидротермические условия вегетационного периода ярового рапса значительно различались. Так, в 2023 г. за май – август осадков выпало на 19 % больше нормы, среднесуточная температура воздуха (17,6 °С) несколько превышала норму, ГТК – 1,29. При этом значительный набор осадков отмечали лишь в начальные фазы роста и развития ярового рапса (третья декада мая; первая, вторая декада июня). В последующий период осадков выпало в 1,8 раза больше среднесуточных значений, а температурный режим был повышенным лишь в период налива и созревания семян (август). Поэтому погодные условия для роста и развития рапса в этом году сложились благоприятными, что положительно сказалось на его урожайности.

Вегетационный период в 2024 г. сложился в целом жарким и засушливым, за май – август осадков выпало на 27 % меньше среднесуточных, среднесуточная температура воздуха превышала норму на 1,3 °С, ГТК – 0,76. В результате такие погодные условия периода вегетации отрицательно сказались на формировании урожая семян ярового рапса.

Результаты и их обсуждение. Яровой рапс является влаголюбивой культурой с интенсивным типом минерального питания, урожай-

ность которой в значительной степени зависит от применения макро- и микроудобрений, а их эффективность от погодных условий вегетации. В среднем по вариантам опыта урожайность рапса в первый год составила 2,79 т/га, а во второй – 1,69 т/га, то есть при большем недоборе осадков и повышенном температурном режиме воздуха получили в 1,7 раза меньше. В 2023 г. по вариантам опыта урожайность семян ярового рапса изменялась в пределах 2,21–3,12 т/га, наибольшая зафиксирована при внесении N₈₀P₈₀K₈₀ осенью + N₄₀ весной + некорневая подкормка органоминеральным удобрением Биостим Масличный. Однако преимущество этого варианта опыта относительно других, где вносили N₈₀P₈₀K₈₀ осенью или N₄₀P₄₀K₄₀ осенью + N₄₀ весной + некорневая подкормка было недостоверным. Следует отметить, что в вариантах с применением удобрений наибольший прирост урожайности ярового рапса составил 0,78–0,91 т/га, или 35–41 %, умеренный – 0,37–0,67 т/га, или 17–30 % (табл. 1).

В 2024 г. урожайность семян ярового рапса в варианте без удобрений составила 1,38 т/га, при их применении она увеличилась на 0,16–0,57 т/га, что в 1,6–2,3 раза меньше, чем в 2023 г. Более высокая урожайность рапса ярового сформировалась при агротехнологиях с внесением N₈₀P₈₀K₈₀ осенью; N₄₀P₄₀K₄₀ осенью + N₄₀ весной + некорневая подкормка; N₈₀P₈₀K₈₀ осенью + N₄₀ весной + некорневая подкормка, преимущество которых относительно других вариантов не всегда достигало существенных значений. Несмотря на значительные изменения урожайности ярового рапса по годам исследований, закономерности влияния на нее изучаемых доз и сроков применения удобрений в целом сохранились.

В среднем за 2023–2024 гг. в варианте опыта без удобрений урожайность семян ярового рапса составила 1,80 т/га, а при изучаемых дозах и сроках их внесения увеличивалась на 0,26–0,74 т/га, или 19–54 %. При этом наиболее высокую получили при агротехнологиях с внесением N₈₀P₈₀K₈₀ осенью; N₄₀P₄₀K₄₀ осенью + N₄₀ весной + некорневая подкормка и N₈₀P₈₀K₈₀ осенью + N₄₀ весной + некорневая подкормка. Хотя преимущество по урожайности изучаемой культуры в этих вариантах опыта относительно других не всегда достигало существенных значений.

⁷Доспехов Б. А. Указ. соч.

⁸Селянинов Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата. М.: Гидрометеиздат, 1977. 220 с.

Таблица 1 – Урожайность семян ярового рапса сорта Форпост КЛ при оптимизации доз и сроков внесения удобрений, т/га /

Table 1 – Yield of spring rapeseed of the ‘Forpost KL’ cultivar with optimization of doses and dates of fertilizers application, t/ha

Вариант / Variant	2023 г.		2024 г.		Среднее за два года / Two-year average	
	урожайность / yield	прибавка / increase	урожайность / yield	прибавка / increase	урожайность / yield	прибавка / increase
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	2,21	-	1,38	-	1,80	-
N ₄₀ весной + НП* / N ₄₀ in spring + FF*	2,58	0,37	1,54	0,16	2,06	0,26
N ₆₀ весной + НП / N ₆₀ in spring + FF*	2,69	0,48	1,57	0,19	2,13	0,33
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn	2,75	0,54	1,67	0,29	2,21	0,41
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ осенью / N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ in autumn	2,98	0,78	1,78	0,40	2,38	0,58
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью + N ₄₀ весной / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn + N ₄₀ in spring	2,88	0,67	1,75	0,37	2,32	0,52
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью + N ₄₀ весной + НП / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn + N ₄₀ in spring + FF	2,99	0,78	1,84	0,46	2,42	0,62
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью + НП / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn + FF	2,87	0,66	1,76	0,38	2,32	0,52
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ осенью + N ₄₀ весной + НП / N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ in autumn + N ₄₀ in spring + FF	3,12	0,91	1,95	0,57	2,54	0,74
Среднее по вариантам / Average by variants	2,79	-	1,69	-	2,24	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,20	-	0,19	-	0,20	-

* НП – некорневая подкормка в межфазный период «стеблевание – начало бутонизации» ярового рапса жидким аминокислотным удобрением-биостимулятором Биостим Масличный (2,0 л/га) /

* FF – Foliar fertilization of spring rapeseed was carried out in the interstage period between stem extension and the beginning of budding with the liquid amino acid fertilizer-biostimulant Biostim Maslichny (2.0 l/ha)

Для оценки эффективности применения удобрений под яровой рапс важно учитывать достигнутые показатели химического состава семян, в первую очередь по содержанию сырого жира и протеина. По данным таблицы 2 видно, что масличность и белковость семян этой культуры в годы исследований несколько различались, что обусловлено погодными условиями в период их налива и созревания.

В среднем за 2023 и 2024 гг. в варианте опыта без удобрений в маслосеменах накапливалось 40,8 % сырого жира и 26,2 % протеина. При внесении удобрений масличность семян снизилась, а белковость увеличивалась. Однако эти изменения достигали существенных значений только в вариантах опыта с внесением повышенных доз минеральных удобрений:

N₈₀P₈₀K₈₀ осенью; N₄₀P₄₀K₄₀ осенью + N₄₀ весной; N₄₀P₄₀K₄₀ осенью + N₄₀ весной + некорневая подкормка; N₈₀P₈₀K₈₀ + N₄₀ весной + некорневая подкормка, при которых одноразовая или суммарная доза азотного удобрения составляла 80 или 120 кг/га.

Исследования показали, что в вариантах полевого опыта из-за изменений урожайности и химического состава семян сбор масла и белка с гектара значительно различался. Так, в среднем по опыту в 2023 г. сбор растительного масла и кормового белка составил 992 и 651 кг/га соответственно на 40 и 53 % больше, чем в 2024 г. Применение изучаемых доз удобрений увеличивало показатели продуктивности ярового рапса (табл. 3).

Таблица 2 – Содержание сырого жира и протеина в семенах ярового рапса сорта Форпост КЛ в зависимости от применения удобрений, % на абсолютно сухое вещество /

Table 2 – Raw fat and protein content in the seeds of the spring rapeseed ‘Forpost KL’ cultivar depending on the application of fertilizer, % of the absolute dry matter

Вариант / Variant	Сырой жир / Crude fat			Протеин / Protein		
	2023 г.	2024 г.	среднее / average	2023 г.	2024 г.	среднее / average
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	39,3	42,2	40,8	26,3	26,1	26,2
N ₄₀ весной + НП* / N ₄₀ in spring + FF	38,8	41,5	40,2	26,7	26,4	26,6
N ₆₀ весной + НП / N ₆₀ in spring + FF	38,7	41,6	40,2	26,8	26,5	26,7
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn	38,9	41,5	40,2	26,8	26,7	26,8
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ осенью / N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ in autumn	37,9	40,9	39,4	27,5	27,8	27,7
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью + N ₄₀ весной / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn + N ₄₀ in spring	37,6	41,2	39,4	27,8	27,3	27,6
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью + N ₄₀ весной + НП / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn + N ₄₀ in spring + FF	37,7	41,6	39,7	27,9	27,1	27,5
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью + НП / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn + FF	38,8	41,5	40,2	26,9	26,8	26,9
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ осенью + N ₄₀ весной + НП / N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ in autumn + N ₄₀ in spring + FF	37,3	40,3	38,8	28,3	28,4	28,4
Среднее по вариантам / Average by variants	38,3	41,4	39,9	27,2	27,0	27,1
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	1,46	0,73	1,10	1,24	0,75	1,00

*См. табл. 1. / Refer to table 1

Таблица 3 – Влияние доз и сроков применения удобрений на сбор растительного масла и кормового белка ярового рапса сорта Форпост КЛ, кг/га /

Table 3 – Effect of doses and dates of fertilizer application on vegetable oil and fodder protein yield of spring rapeseed of the ‘Forpost KL’ cultivar, kg/ha

Вариант / Variant	Растительное масло / Vegetable oil			Кормовой белок / Fodder protein		
	2023 г.	2024 г.	среднее / average	2023 г.	2024 г.	среднее / average
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	809	542	676	541	335	438
N ₄₀ весной + НП* / N ₄₀ in spring + FF*	931	595	763	641	379	510
N ₆₀ весной + НП / N ₆₀ in spring + FF	969	608	789	671	388	530
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn	996	646	821	686	415	551
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ осенью / N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ in autumn	1050	676	863	762	460	611
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью + N ₄₀ весной / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn + N ₄₀ in spring	1007	672	840	745	445	595
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью + N ₄₀ весной + НП / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn + N ₄₀ in spring + FF	1049	711	880	777	463	620
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью + НП / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn + FF	1037	677	857	719	437	578
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ осенью + N ₄₀ весной + НП / N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ in autumn + N ₄₀ in spring + FF	1082	731	907	821	515	668
Среднее по вариантам / Average by variants	992	651	822	707	426	567
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	70,4	71,1	70,8	50,5	46,8	48,7

*См. табл. 1. / Refer to table 1

От внесения под предпосевную культивацию N₄₀ или N₆₀ с некорневой подкормкой Биостим Масличный существенно повышался сбор масла и кормового белка с гектара. Эффективность одностороннего основного внесения полного минерального удобрения в дозах N₄₀P₄₀K₄₀ или N₈₀P₈₀K₈₀ была более высокой. В других вариантах эти показатели продуктивности ярового рапса также повышались и наибольших значений достигали при агротехнологии с внесением N₈₀P₈₀K₈₀ осенью + N₄₀ весной + некорневая подкормка, но преимущество которой не всегда достоверно. Следует отметить, что некорневая подкормка органоминеральным удобрением Биостим Масличный

несколько увеличивала сбор масла и белка ярового рапса, но этот прирост не достигал существенных значений.

Следовательно, применение удобрений является важным агроприемом повышения урожайности, сбора растительного масла и кормового белка ярового рапса. Однако для внедрения в сельскохозяйственное производство основное значение имеет экономическая эффективность технологий его возделывания. Согласно проведенным расчетам, стоимость полученного урожая маслосемян этой культуры в контрольном варианте без удобрений составила 54000 руб/га, а при их внесении увеличилась на 7800–2200 руб/га (табл. 4).

Таблица 4 – Экономическая эффективность технологии возделывания ярового рапса сорта Форпост КЛ при различных дозах и сроках внесения удобрений (в среднем за 2023-2024 гг.) / Table 4 – Economic efficiency of spring rapeseed of the ‘Forpost KL’ cultivar cultivation technology at different doses and dates of fertilizer application (average for 2023-2024)

<i>Вариант / Variant</i>	<i>Стоимость урожая семян, руб/га / Cost of seed yield, rub/ha</i>	<i>Производственные затраты, руб/га / Production costs, rub/ha</i>	<i>Себестоимость 1 т семян, руб. / Cost price of 1 t of seeds, rub</i>	<i>Чистый доход, руб/га / Net income, rub/ha</i>	<i>Рентабельность, % / Profitability, %</i>
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	54000	24607	13671	29393	119
N ₄₀ весной + НП* / N ₄₀ in spring + FF*	61800	29755	14444	32045	108
N ₆₀ весной + НП / N ₆₀ in spring + FF	63900	31348	14717	32552	104
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn	66300	34054	15409	32246	95
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ осенью / N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ in autumn	71400	42977	18058	28423	66
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью + + N ₄₀ весной / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn + N ₄₀ in spring	69600	37308	16081	32292	87
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью + + N ₄₀ весной + НП / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn + +N ₄₀ in spring + FF	72600	39118	16164	33482	86
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ осенью + НП / N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ in autumn + FF	69600	35880	15466	33720	94
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ осенью + + N ₄₀ весной + НП / N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ in autumn + + N ₄₀ in spring + FF	76200	47957	18881	28243	59

*См. табл. 1. / Refer to table 1

Наши исследования показали, что применение изучаемых доз удобрений увеличило производственные затраты на возделывание ярового рапса в 1,2–2,0 раза. Наиболее низкие затраты получили в варианте опыта с внесе-

нием под предпосевную культивацию N₄₀ и некорневой подкормкой удобрением Биостим Масличный, а наибольшие при внесении N₈₀P₈₀K₈₀ осенью под вспашку, N₄₀ весной под предпосевную культивацию + некорневая

подкормка Биостим Масличный. В результате при агротехнологиях возделывания ярового рапса с внесением удобрений увеличилась себестоимость 1 тонны маслосемян и снизилась рентабельность их производства. В то же время чистый доход повысился, самый высокий получили, когда при возделывании ярового рапса применяли $N_{40}P_{40}K_{40}$ осенью под вспашку и некорневую подкормку удобрением Биостим Масличный. В этом варианте опыта себестоимость маслосемян была практически в два раза меньше ее рыночной стоимости и рентабельность составила 94 %.

Заключение. Исследования 2023-2024 гг., проведенные в почвенно-климатических условиях Липецкой обл. (лесостепь ЦФО Российской Федерации), показали, что применение удобрений под яровой рапс нового сорта Форпост КЛ увеличивало урожайность семян

на 14–31 %. Высокие показатели (2,38–2,54 т/га) получили в вариантах опыта: $N_{80}P_{80}K_{80}$ осенью; $N_{40}P_{40}K_{40}$ осенью + N_{40} весной + некорневая подкормка; $N_{80}P_{80}K_{80}$ осенью + N_{40} весной + некорневая подкормка, которые обеспечили также самый большой сбор растительного масла (863–907 кг/га) и кормового белка (611–668 кг/га). Но из-за значительных производственных затрат они оказались экономически малоэффективными. Выявлено, что наибольший чистый доход гарантировала агротехнология возделывания ярового рапса с внесением осенью под вспашку $N_{40}P_{40}K_{40}$ + некорневая подкормка органоминеральным удобрением с росторегулирующим действием Биостим Масличный в межфазный период «стеблевание – начало бутонизации», где урожайность составила 2,32 т/га, себестоимость 1 тонны маслосемян – 15446 руб. и рентабельность – 94 %.

Список литературы

1. Артемьев Ан. А., Артемьев Ал. А. Влияние минеральных удобрений на ростовые и структурные показатели растений ярового рапса. Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(3(6)):5–9. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36759585> EDN: VRCGPI
2. Байкалова Л. П., Бобровский А. В., Крючков А. А. Влияние минеральных удобрений и средств защиты растений на элементы структуры и урожайность ярового рапса. Вестник КрасГАУ. 2020;(3(156)):3–10. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-3-3-10> EDN: GZOXGQ
3. Пиллок Я. Э., Храмченко С. Ю., Лукашевич Т. Н. Влияние сроков сева, доз азотных удобрений и регуляторов роста на урожайность и качество маслосемян рапса ярового. Земледелие и селекция в Беларуси. 2023;(59):162–170. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59460746> EDN: AMQIPP
4. Вафина Э. Ф., Хахимов Е. И. Реакция ярового рапса Аккорд на удобрения урожайностью и качеством семян. Пермский аграрный вестник. 2018;(4(24)):40–47. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37119536> EDN: YZVOLR
5. Лупова Е. И., Виноградов Д. В. Влияние гуминового удобрения и доз минеральных удобрений на продуктивность ярового рапса. Вестник аграрной науки. 2020;(3(84)):31–37. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.3.31> EDN: JSAEFF
6. Гаврилова Г. В., Иванов И. Н., Смирнов И. В. Эффективность калийных удобрений в посевах ярового рапса на дерново-подзолистой супесчаной почве. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(4):2–6. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41595768> EDN: ECMBWH
7. Зубкова Т. В. Продуктивность ярового рапса при использовании многокомпонентных удобрений. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022;17(1):7–19. DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-1-7-19> EDN: NUHBSM
8. Кузнецова Г. Н., Полякова Р. С. Применение гуминовых и минеральных удобрений в посевах рапса ярового. International Agricultural Journal. 2021;64(5):217–228. DOI: <https://doi.org/10.24412/2588-0209-2021-10368> EDN: AFHKNZ
9. Кошелева Е. Д., Смышляев А. А. Сравнительная оценка влияния удобрений на формирование урожайности ярового рапса. Мир Инноваций. 2022;(2(21)):11–15. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48561231> EDN: AXIINB
10. Мокрушина А. В., Богатырева А. С., Акманаев Э. Д. Семенная продуктивность сортов ярового рапса в зависимости от доз минеральных удобрений в условиях Среднего Предуралья. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019;14(1(52)):46–52. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5ccedbad613de0.29214441 EDN: HWTBTC
11. Bouchet A.-S., Laperche A., Bissuel-Belaygue Ch., Snowdon R., Nesi N., Stahl A. Nitrogen use efficiency in rapessed. A review. Agronomy for Sustainable Development. 2016;36(2):38. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0371-0> EDN: TREEID
12. Григорьев Е. В., Постовалов А. А. Реакция ярового рапса на обработку посевов жидкими минеральными удобрениями. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(1(41)):60–63. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-1-60-63> EDN: YWXASG

13. Нурлыгаянов Р. Б., Исмагилов Р. Р., Исмагилов К. Р. Влияние минеральных удобрений на урожайность семян ярового рапса (*Brassica napus* L.). Проблемы агрохимии и экологии. 2019;(2):70–74. DOI: <https://doi.org/10.26178/AE.2019.19.91.011> EDN: PHQVGB
14. Ma B.-L., Zheng Zh., Whalen J. K., Caldwell C., Vanasse A., Pageau D. et al. Uptake and nutrient balance of nitrogen, Sulphur, and boron for optimal canola production in eastern Canada. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2019;182(2):252–264. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.201700615>
15. Кормин В. П. Эффективность применения минеральных удобрений и регулятора роста «Зеребра Агро» под яровой рапс на семена в условиях лесостепи Омской области. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2023;(1(49)):35–40. DOI: https://doi.org/10.48136/2222-0364_2023_1_35 EDN: HKGWJP
16. Пироговская Г. В., Сороко В. И., Хмелевский С. С., Исаева О. И., Некрасова И. Н., Голоскок Е. Н. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество озимого и ярового рапса на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве. Почвоведение и агрохимия. 2019;(2(63)):114–125. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42209822> EDN: ZLXBCB
17. Хайруллин А. М., Багаутдинов Ф. Я., Гайфуллин Р. Р., Валитов А. В., Ахияров Б. Г. Влияние форм азотных удобрений на урожайность и биохимический состав семян рапса ярового. Пермский аграрный вестник. 2019;(2(26)):101–109. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40481945> EDN: QLSKWS

References

1. Artemjev An. A., Artemjev Al. A. The influence of mineral fertilizers on the growth and structural parameters of plants of spring rape. *Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik Chuvash State Agricultural Academy. 2018;3(6):5–9. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36759585>
2. Baykalova L. P., Bobrovsky A. V., Kryuchkov A. A. The influence of mineral fertilizers and plant protection means on the structure elements and spring rapeseed productivity. *Vestnik KraSGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2020;(3(156)):3–10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-3-3-10>
3. Pilyuk Ya. E., Khrumchenko S. Yu., Lukashevich T. N. Effect of sowing periods, nitrogen fertilizers doses and growth regulators on the yield and quality of spring rape oil seeds. *Zemledelie i selektsiya v Belarusi* = Arable Farming and Plant Breeding in Belarus. 2023;(59):162–170. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59460746>
4. Vafina E. F., Khakimov E. I. Response of yield capacity and seed quality of the Accord spring rape to fertilizers. *Permsky agrarny vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2018;(4(24)):40–47. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37119536>
5. Lupova E. I., Vinogradov D. V. Influence of humic fertilizer and mineral fertilizers doses on the productivity of spring rape. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of agrarian science. 2020;(3(84)):31–37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.3.31>
6. Gavrilova G. V., Ivanov I. N., Smirnov I. V. The effectiveness of potash fertilizers in spring rapeseed crops on sod-podzolic sandy loam soil. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2019;(4):2–6. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41595768>
7. Zubkova T. V. Influence of multicomponent fertilizers on spring rapeseed productivity. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhbi narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2022;17(1):7–19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-1-7-19>
8. Kuznetsova G. N., Polyakova R. S. Application of humic and mineral fertilizers on spring rapeseed sowings. *International Agricultural Journal*. 2021;64(5):217–228. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2588-0209-2021-10368>
9. Kosheleva E. D., Smishlyaev A. A. Comparative assessment of fertilizer effect on spring rapeseed yield formation. *Mir Innovatsy* = World of innovation. 2022;(2(21)):11–15. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48561231>
10. Mokrushina A. V., Bogatireva A. S., Akmanayev E. D. Semennaya produktivnost sortov yarovogo rapsa v zavisimosti ot doz mineral-nikh udobreny v usloviyakh Srednego Preduralya. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2019;14(1(52)):46–52. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_5ccedbad613de0.29214441
11. Bouchet A.-S., Laperche A., Bissuel-Belaygue Ch., Snowdon R., Nesi N., Stahl A. Nitrogen use efficiency in rapeseed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2016;36(2):38. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0371-0> EDN: TREEID
12. Grigorev E. V., Postovalov A. A. Reaction of spring rape on liquid mineral fertilizer treatment. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2018;(1(41)):60–63. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-1-60-63>
13. Nurligayanova R. B., Ismagilov R. R., Ismagilov K. R. Influence of mineral fertilizers on yield and seed oil content of spring rape (*Brassica napus* L.). *Problemi agrokhimii i ekologii* = Problemy agrokhimii i ekologii. 2019;(2):70–74. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26178/AE.2019.19.91.011>

14. Ma B.-L., Zheng Zh., Whalen J. K., Caldwell C., Vanasse A., Pageau D. et al. Uptake and nutrient balance of nitrogen, Sulphur, and boron for optimal canola production in eastern Canada. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2019;182(2):252–264. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.201700615>

15. Kormin V. P. The effectiveness of the use of mineral fertilizers and the growth regulator “Zerebra Agro” for spring rapeseed seeds in the conditions of the forest-steppe of the Omsk region. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk SAU*. 2023;(1(49)):35–40. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.48136/2222-0364_2023_1_35

16. Pirogovskaya G. V., Soroko V. I., Khmelevsky S. S., Isaeva O. I., Nekrasova I. N., Goloskok E. N. Effect of sulfur-containing fertilizers on productivity and quality of winter and spring rape seeds on sod-podsolic loamy sand soil. *Pochvovedenie i agrokimiya = Soil Science and Agrochemistry*. 2019;(2(63)):114–125. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42209822>

17. Khayrullin A. M., Bagautdinov F. Ya., Gayfullin R. R., Valitov A. V., Akhiyarov B. G. Influence of the nitrogen fertilizers forms on yield and biochemical composition of the spring rape seeds. *Permsky agrarny vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2019;(2(26)):101–109. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40481945>

Сведения об авторах

Лукомец Вячеслав Михайлович, доктор с.-х. наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», ул. им. Филатова, д. 17, г. Краснодар, Российская Федерация, 350038, e-mail: vniimk@vniimk.ru, директор ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П. П. Лукьяненко», Центральная Усадьба КНИИСХ, 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350012, e-mail: kniish@kniish.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9162-0317>

Савенков Валерий Петрович, доктор с.-х. наук, доцент, главный научный сотрудник отдела технологий возделывания рапса и других сельскохозяйственных культур, Липецкий научно-исследовательский институт рапса – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», Боевой проезд, д. 26, г. Липецк, Липецкая область, Российская Федерация, 398037, e-mail: info@lniir.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6774-9590>

✉ **Бушнев Александр Сергеевич**, ведущий научный сотрудник лаборатории агротехники агротехнологического отдела, ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», ул. им. Филатова, д. 17, г. Краснодар, Российская Федерация, 350038, e-mail: vniimk@vniimk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9037-7965>, e-mail: vniimk-agro@mail.ru

Information about the authors

Vyacheslav M. Lukomets, DSc in Agricultural Science, professor, academician of RAS, research supervisor, V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Filatov st., 17, Krasnodar, Russian Federation, 350038, e-mail: vniimk@vniimk.ru, director of National Center of Grain named after P. P. Lukyanenko, Central Estate of KNIISKh, 1, Krasnodar, Krasnodar region, Russian Federation, 350012, e-mail: kniish@kniish.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9162-0317>

Valery P. Savenkov, DSc in Agricultural Science, associate professor, chief researcher, the Department of Cultivation Technologies for Rapeseed and Other Crops, Lipetsk Rapeseed Research Institute – branch of V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Boevoy proezd, 26, Lipetsk, Lipetsk region, Russian Federation, 398037, e-mail: info@lniir.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6774-9590>

✉ **Alexander S. Bushnev**, leading researcher, the Laboratory of Agricultural Practices, the Department of Agrotechnology, V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Filatov st., 17, Krasnodar, Russian Federation, 350038, e-mail: vniimk@vniimk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9037-7965>, e-mail: vniimk-agro@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



Эффективность экстракта зоокомпоста черной львинки в качестве органического удобрения для микрозелени подсолнечника

© 2025. Я. В. Пухальский^{1✉}, С. И. Лоскутов¹, А. И. Осипов²,
А. И. Якубовская³, В. Р. Турковская², И. А. Каменева³

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,

²ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,

³ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»,
г. Симферополь, Российская Федерация

Подбор питательной среды является одним из важных факторов, влияющих на урожайность и качество микрозелени. В эксперименте изучали возможность использования остатков жизнедеятельности личинок насекомых черной львинки – зоокомпоста черной львинки (ЗЧЛ) – в качестве органической добавки при выращивании микрозелени подсолнечника в условиях хемопоники. Схема опыта: контроль – фильтрованная вода; минеральное удобрение (1,5 мл/л); 1,0%-й водный экстракт ЗЧЛ (10 мл/л). Растения выращивали в пластиковых контейнерах в течение 7 суток в условиях закрытого гроубокса при интенсивной светокультуре и контролируемом микроклимате. Результаты показали, что добавка экстракта ЗЧЛ привела к увеличению высоты побегов подсолнечника на 20–23 % и позволила получить самый высокий урожай микрозелени – на 51 и 27 % больше по сухой массе, чем при выращивании в контроле и на минеральном фоне. Биохимический состав микрозелени варьировал в зависимости от варианта. По содержанию общего хлорофилла и фенолов, проростки, выращенные с добавлением экстракта ЗЧЛ, несколько уступали растениям, полученным на растворе минерального удобрения, однако отличались от них лучшим накоплением каротиноидов и снижением на 15 % содержанием нитратов. Как и в случае с минеральными удобрениями, на фоне внесения экстракта ЗЧЛ наблюдали увеличение суммарного накопления в микрозелени макроэлементов, особенно кальция. Экономический анализ подтвердил превосходство использования экстракта зоокомпоста: чистая прибыль на органике в 6,7 раза превышала показатели на минеральном фоне.

Ключевые слова: *Helianthus annuus*, *Hermetia illucens*, экстракт, биохимия

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (темы № FGUS 2024-0010 и FGUS 2025-0005).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пухальский Я. В., Лоскутов С. И., Осипов А. И., Якубовская А. И., Турковская В. Р., Каменева И. А. Эффективность экстракта зоокомпоста черной львинки в качестве органического удобрения для микрозелени подсолнечника. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025;26(6):1342–1354. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1342-1354>

Поступила: 27.05.2025

Принята к публикации: 08.12.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Efficiency of black soldier fly zoocompost extract as an organic fertilizer for sunflower microgreens

© 2025. Jan V. Puhalsky^{1✉}, Svyatoslav I. Loskutov¹, Anatoly I. Osipov²,
Alla I. Yakubovskaya³, Valeria R. Turkovskaya², Irina A. Kameneva³

¹V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, St. Petersburg,
Russian Federation,

²Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russian Federation,

³Research Institute of Agriculture of the Crimea, Simferopol, Russian Federation

The selection of a nutrient medium is one of the important factors affecting the yield and determining the quality of microgreens. During the experiment there was studied the possibility of using the remains of the life activity of black soldier fly larvae zoocompost (BSFLZ) as an organic supplement for growing sunflower microgreens under chemoponic conditions. The experimental design: control – filtered water; mineral fertilizer (1.5 ml/l); 1.0 % aqueous extract of BSFLZ (10 ml/l). Plants were grown in plastic containers for 7 days in a closed growbox under intensive light conditions and a controlled microclimate. The results showed that the addition of the BSFLZ extract increased sunflower shoot height by 20–23 % and resulted in the highest microgreens yield – 51 and 27 % higher in dry weight than growing in the control and mineral fertilizers. The biochemical composition of the microgreens varied depending on the treatment. In terms of total chlorophyll and phenol content, seedlings grown with the addition of the BSFLZ extract were slightly inferior to plants grown with a mineral fertilizer solution; however, they exhibited better carotenoid accumulation and a 15 % reduction in nitrate content. As with mineral

fertilizers, the addition of the BSFLZ extract increased the total accumulation of macronutrients, particularly calcium, in the microgreens. Economic analysis confirmed the superiority of using zoocompost extract: net profit on organic matter was 6.7 times higher than on mineral-based ones.

Keywords: *Helianthus annuus, Hermetia illucens, extract, biochemistry*

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 V. M. Gorbatov Federal Scientific Center of Food Systems of the Russian Academy of Sciences (topics No. FGUS 2024-0010 and FGUS 2025-0005).

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

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

For citation: Puhalsky Ya. V., Loskutov S. I., Osipov A. I., Yakubovskaya A. I., Turkovskaya V. R., Kameneva I. A. Efficiency of black soldier fly zoocompost extract as an organic fertilizer for sunflower microgreens. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1342–1354. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1342-1354>

Received: 27.05.2025

Accepted for publication: 08.12.2026

Published online: 26.12.2026

Микрозелень – это функциональный суперпродукт XXI века, представляющий собой молодые ростки съедобных овощей, зелени и бобовых [1, 2]. Обычно их собирают через 7–21 дней после посева, на стадии появления первого настоящего листа. За последнее десятилетие интерес к микрозелени значительно возрос у городского населения, численность которого продолжает увеличиваться за счёт притока сельского населения. Связано это, в первую очередь, с экономическим фактором, т. к. благодаря простоте выращивания микрозелени в домашних условиях малообеспеченные слои населения могут сэкономить на покупке дорогостоящих органических продуктов в специализированных магазинах. Поскольку микрозелень содержит в 10–40 раз больше питательных элементов и биоактивных вторичных метаболитов, чем взрослые растения [3, 4, 5], включение ее в рацион способствует снижению риска развития авитаминоза и скрытого голода [6]. Кроме того, регулярное употребление проростков различных культур избавляет организм от токсинов и способствует профилактике заболеваний у современного поколения, которые возникли из-за малоподвижного образа жизни, в постпандемийный период [7, 8]. Помимо обычных граждан, микрозелень привлекает внимание состоятельных людей и бизнесменов, которые ценят ее за эстетику и приятный вкус. Элитные рестораны используют молодые ростки как премиальные добавки (гарнир) и элементы декора при подаче деликатесов для гурманов. Украшенные таким образом блюда подаются как элемент высокой кухни, за который посетители готовы платить больше. Микрозелень популярна в кулинарии, а также среди спортсменов и вегетарианцев, которые в еде придерживаются тренда на здоровое питание.

Среди разнообразия видов микрозелени можно выделить подсолнечник обыкновенный (*Helianthus annuus* L.) – масличную культуру из семейства Астровые (*Asteraceae*). Несмотря на то, что молодые ростки являются хорошим источником природных антиоксидантов, имеющих пищевую и медицинскую значимость (флавоноиды, каротиноиды, фенольные кислоты) [9], большинство исследователей выращивают подсолнечник как декоративное растение до взрослого состояния. Поэтому биохимический состав микрозелени еще недостаточно хорошо изучен. Чаще всего микрозелень подсолнечника выращивают на твердой среде в комбинациях вермикулита, перлита, торфа, почвенной смеси и кокосового волокна. При этом дополнительные питательные вещества в субстрат обычно не вносят, что приводит к снижению урожайности и ухудшению качества продукции. Применение удобрений не всегда дает положительный результат. Так, в работе [10] было показано, что выращивание микрозелени подсолнечника на кокосовом субстрате с семью различными азотными удобрениями (моноаммонийфосфат, нитрат калия, нитрат кальция, сульфат аммония, нитрат аммония, мочевины и глютенат натрия) не увеличило сырую и сухую массу данной культуры, а также содержание органических пигментов. Таким образом, можно сделать предположение, что для проявления значимого эффекта требуется внесение раствора комплексного минерального удобрения.

Высокая рентабельность микрозелени, достигающая уровня 40–70 %, предсказуемо заинтересовала представителей агробизнеса. На месте заброшенных и промышленных объектов в городской черте всё больше стали создаваться предприятия по выращиванию зеленой продукции, где растения культиви-

руют на вертикальных сити-фермах в беспочвенной среде. Близость к конечному потребителю снижает углеродный след и логистические издержки при доставке, а отказ от использования почвы в системе значительно снижает риск от заболеваний и вредителей, что приводит к оздоровлению растений и уменьшению их потерь при хранении [11]. По мировым прогнозам ожидается, что валовой сбор микрозелени будет расти в период с 2020 по 2028 г. в среднем на 7,5 % в год, а ее стоимость с 1,7 млрд долларов в 2022 г. до 2,6 млрд дол-

ларов к 2029 г. [12, 13]. Распределение продаж данной культуры на текущий момент представлено на рисунке 1. Италия, США и Индия являются лидерами по исследованию микрозелени, на долю которых приходится почти 65 % от общего числа опубликованных научных статей в период с 2004 по 2024 г. [13, 14, 15]. При этом, если количество публикаций о микрозелени оставалось относительно низким до 2017 г., то начиная с 2018 г. оно заметно возросло с менее чем 10 статей в год до 100 к концу 2024 г.



Рис. 1. Объем мирового рынка микрозелени по регионам в 2020 г. Самый темный цвет – наибольшая значимость рынка, самый светлый – наименьшая. Источник: М. Парасиву с соавт. (M. Paraschivu et al.) [12] /

Fig. 1. Global microgreens market size by regions in 2020. The darkest color represents the highest market importance, and the lightest represents the lowest. Source: M. Paraschivu et al. [12]

Необходимо отметить, что исследований, связанных с изучением использования нетрадиционных органических удобрений при выращивании микрозелени, пока недостаточно. Вместе с тем частичная замена минеральных удобрений органическими способствует повышению экологичности и снижению себестоимости конечной биомассы. Имеются результаты исследования по положительному влиянию экстрактов биогумуса красных червей и хлореллы [16], грибного компоста [17, 18], добавок фульвокислот [19] на формирование микрозелени различных культур.

Среди органических удобрений нового типа также можно выделить зоокомпост – продукт жизнедеятельности личинок синантропной мухи черная львинка (*Hermetia illucens* Linnaeus, 1758), получаемый в процессе переработки (биоконверсии) насекомыми отходами 3-4-го класса опасности [20, 21]. По данным Н. Джалила и др. (N. Jalil et al.) [22], личинки

предпочитают белковые отходы углеводным. Данная технология замкнутого цикла является недорогой [23]. Идея использовать экскременты насекомых в качестве органического удобрения появилась относительно недавно. Проведенные исследования показали, что этот продукт соответствует стандартам качества, установленным для органических удобрений на основе отходов животноводства [24]. Ученые пришли к выводу, что экскременты *H. illucens* содержат значительно больше азота (на 20–130 %), фосфора (на 60–80 %) и калия (на 17–193 %) по сравнению с экскрементами других насекомых, в частности ширтоцерки (*Schistocerca gregaria*), тутового шелкопряда (*Bombyx mori*), полевого сверчка (*Scapsipedus icipe*) и мучного хрущака (*Tenebrio molitor*) [25]. Общее содержание N варьирует от 0,8 до 5,1 %, P – от 0,8 до 2,5 % и K – от 0,2 до 4,1 % [26]. В целом соотношение N:P₂O₅:K₂O в удобрении из экскрементов черной львинки составляет 1,0:0,9:1,1 [27]. Основными

формами азота в продукте являются мочевиная кислота, которая превращается в аммоний (NH_4^+), а затем в аммиак (NH_3), который со временем улетучивается [28]. В экскрементах *H. illucens* всегда более низкое соотношение углерода к азоту, чем в исходном субстрате, что способствует быстрому усвоению эссенциальных элементов растениями [22, 29, 30]. Зоокомпост может заменить традиционные азотные удобрения, поскольку по своим питательным свойствам сопоставим с аммиачной селитрой (NH_4NO_3) [31]. Кроме того, экскременты не накапливают в себе токсичные металлы и такие опасные вещества, как микотоксины или инсектициды [21, 29, 30]. Содержание органических веществ в зоокомпосте выше, чем в навозе и других видах компоста – до 84,9 % [27].

В настоящее время рынок зоокомпоста, хотя и имеет ограниченный экономический

потенциал, но ожидается, что в ближайшие несколько лет он будет быстро расти. Если в 2019 г. объем его мирового рынка составлял 128 млн долларов, то предполагается, что к 2030 г. он вырастет до 3,4–3,9 млрд долларов [32].

Цель исследования – изучить влияние водного экстракта зоокомпоста черной львинки на накопление биомассы микрозелени подсолнечника и ее биохимический состав.

Научная новизна – обогащение инертного субстрата жидким удобрением в виде экстракта из зоокомпоста *H. Illucens* для создания условий органической хемопоники и получения экологически чистой микрозелени подсолнечника.

Материал и методы. Эксперимент проводили в гроубоксе (60x40x40 см) при интенсивной светокультуре (рис 2). Для проращивания брали семена подсолнечника компании «Ильинские проростки».



Рис. 2. Рост микрозелени подсолнечника в гроубоксе: 1 – контроль (вода); 2 – минеральное удобрение (1,5 мл/л); 3 – 1,0%-й экстракт зоокомпоста /

Fig. 2. Growing sunflower microgreens in a growbox: 1 – Control (water); 2 – Mineral fertilizer (1.5 ml/L); 3 – 1.0% zoocompost extract

Температура воздуха во время проведения опыта составляла 23 °С при относительной влажности воздуха 70 %. Для повышения питательной ценности и терапевтического потенциала микрозелень подсолнечника рекомендуют выращивать под светодиодными лампами [33], поэтому источником освещения в опыте служила LED-панель белого света на 120 Вт

(24,0 тыс. люкс или 360 ммоль/м²/с ФАР). Фотопериод составил 16ч/8ч – день/ночь. Срок вегетации – 7 суток. Предварительно замоченные на ночь семена в количестве 100 г равномерно раскладывали по пластиковым контейнерам (40x20 см) с верховым нейтрализованным торфом (ООО «Велторф», Россия), который предварительно увлажняли путем пролива

разведенной суспензией с рН 7,0, полученной из зоокомпоста, в концентрации 1,0 %. Выбор концентрации основан на наших ранних работах и публикациях других исследователей на гидропонике, а также на результатах по влиянию экстракта зоокомпоста на активность почвенной микрофлоры [34, 35, 36, 37].

Дополнительно был заложен вариант выращивания растений при внесении раствора трехкомпонентного минерального удобрения TriPart (Terra Aquatica, Франция). В качестве чистого контроля выступал вариант выращивания микрозелени с увлажнением субстрата фильтрованной водой. Рабочие растворы обоих типов удобрений вносили в субстрат разово при посеве семян. В дальнейшем влажность субстрата поддерживали весовым методом при поливе фильтрованной водой. Эксперимент повторяли три раза – каждый вариант по три повторности.

Исходный порошок зоокомпоста получали путем просеивания и высушивания экскрементов личинок *H. illucens*, выращенных на базе

лабораторного инсектария Всероссийского НИИ пищевых добавок (Санкт-Петербург). Биостимулирующий раствор изготавливали путем водной экстракции зоокомпоста при постоянном перемешивании суспензии с принудительной аэрацией в течение 8 часов с помощью верхнеприводной мешалки MICROSTAR 7.5 control (ИКА, Германия) с дальнейшим настаиванием в течение 16 часов. Получившуюся суспензию отделяли от осадка зоокомпоста путем фильтрации (рис. 3).

Выбор данного временного режима и способа экстракции был обусловлен практичностью при масштабировании технологического процесса и введении экстракта в поливную воду. Метод не требует специального оборудования или дополнительного использования химических реагентов, которые могут сдвинуть конечный уровень кислотности раствора. Данный метод также использовался в работах других исследователей [38]. Содержание биогенных элементов в суспензии оставалось стабильным до 48 часов [36].



Рис. 3. Исходный порошок и суспензия зоокомпоста после экстракции и фильтрации / Fig. 3. Initial powder and suspension of zoocompost after extraction and filtration

Известно, что состав зоокомпоста зависит от корма, которым питаются личинки [21, 26, 39, 40]. В нашем случае рацион личинок включал пшеничные отруби, что давало наибольший выход содержания общего азота (3,2–4,8 %) в зоокомпосте [41]. Соотношение С:N – 8:1–10:1.

Минеральный состав исходного порошка и вытяжки из зоокомпоста представлены

в таблице 1. Анализ проводили с помощью метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) на оптическом спектрометре ICPE-9000 (Shimadzu, Япония). В целом содержание всех элементов в 1,0%-м экстракте суммарно было приближено к раствору минерального удобрения.

Таблица 1 – Сравнительный элементный состав водного экстракта зоокомпоста черной львинки и раствора минерального удобрения, применяемых в опыте /

Table 1 – Comparative elemental composition of the aqueous extract of black soldier fly zoocompost and mineral fertilizer solution used in the experiment

<i>Элемент / Element</i>	<i>Сухой зоокомпост, мг/кг / Dry zoocompost, mg/kg</i>	<i>Раствор минерального удобрения, мг/л / Mineral fertilizer solution, mg/l</i>	<i>1,0%-й экстракт зоокомпоста, мг/л / 1.0% zoocompost extract, mg/l</i>
Ba	19,6	0,20	0,02
Ca	5540,5	120,0	103,6
Cu	13,10	0,05	0,04
Fe	1095,1	2,5	1,7
K	9523,7	150,0	137,0
Li	1,50	0,02	0,01
Mg	3790,6	50,0	40,0
Mn	53,2	0,5	0,4
Mo	2,20	0,05	0,01
Na	1775,3	15,0	3,7
Ni	4,80	0,10	0,01
P	9933,8	50,0	72,1
S	1924,4	50,0	30,1
Sr	21,90	0,30	0,03
Zn	83,5	0,2	0,1

Общее содержание органического вещества в сухом зоокомпосте равнялось 82,8 % (ГОСТ 26213¹), органического углерода – 43,2 % (ГОСТ 10694-2024²), общего азота – 1,8 % (ГОСТ Р 58596-2019³), гуминовых кислот – 9,8 % (по методике В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой⁴). В водной вытяжке (экстракте) зоокомпоста: органического углерода – 0,37 %; общего азота – 0,09 %; гуминовых кислот – 5,3 %.

По окончании эксперимента полученную биомассу проростков подсолнечника взвешивали, измеряли высоту побегов, сушили

при комнатной температуре и затем измельчали в порошок для дальнейшего биохимического анализа.

Содержание фотосинтетических пигментов в тканях листьев определяли фотоколориметрически на спектрофотометре UV-2700 (Shimadzu, Япония) при длинах волн 663 нм (OD663), 645 нм (OD645) и 470 нм (OD470) [42]. Концентрацию поглощения хлорофилла и каротиноидов выражали в мг на 100 г сырой массы с использованием формул [43]:

$$\text{Общий хлорофилл (Хл}_{\text{общий}}) = [(20,21 \cdot \text{OD}_{645} - 8,02 \cdot \text{OD}_{663})] * \left(\frac{V}{1000 W} \right),$$

$$\text{Каротиноиды} = \left[\left(\frac{(1000 \cdot \text{OD}_{470}) - (3,27 \cdot \text{Хл}_a) - (104,0 \cdot \text{Хл}_b)}{229} \right) \right] * \left(\frac{V}{1000 W} \right),$$

где – значения 20,21; 8,02; 2,59; 12,72; 22,88; 4,67; 3,27 и 104,0 – коэффициенты экстинкции;

V – объем экстракционного раствора;
W – сырая масса побега.

¹ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75803.pdf>

²ГОСТ 10694-2024. Качество почвы. Определение содержания органического и общего углерода после сухого сжигания (элементный анализ). М.: Российский институт стандартизации, 2024. 16 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/831/83172.pdf>

³ГОСТ Р 58596-2019. Почвы. Методы определения общего азота. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293726/4293726644.pdf>

⁴Пonomарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 222 с.

Количество флавоноидов измеряли фотокolorиметрическим методом при длине волны 515 нм. Общее содержание фенолов определяли по методу П. Чутиманукула с соавт. (P. Chutimanukul et al.) [44]. Содержание нитрата измеряли в соответствии с методикой, описанной Д. А. Каталдо (D. A. Cataldo et al.) с использованием салициловой кислоты [45].

Анализ профиля накопления эссенциальных элементов в биомассе проводили в кислотной пробе после терморазложения растительных образцов на ICPE-9000 [46, 47]. Для каждого элемента строили градуировочную характеристику (в каждом случае $r \geq 0,998$). В качестве стандартного раствора использовали многоэлементный раствор для ICP Sigma-Aldrich Merck (США).

Обработку полученных данных выполняли с использованием прикладной системы Excel 2016 (Microsoft Corp., США) с приме-

нением функций описательной статистики: расчет средних значений, стандартных отклонений, ошибки средних, значимости различий между вариантами.

Результаты и их обсуждение. Для микрорзелени подсолнечника самая высокая сырая масса побегов в пересчете на 1 м² была зарегистрирована в варианте с внесением 1,0%-го экстракта зоокомпоста (табл. 2), прибавка к контролю составила около 5 %. Сухая масса побегов в этом варианте увеличилась на 51 и 27 % по сравнению с контролем и минеральной добавкой. Попарное сравнение t-тестом Стьюдента подтвердили статистически значимые различия между вариантами ($p > 0,001$). На органике также отмечено увеличение высоты побегов подсолнечника на 20–23 %. На фоне минерального удобрения растения практически не отличались по биометрическим показателям от контроля.

Таблица 2 – Влияние удобрительного фона на биометрические показатели микрорзелени подсолнечника / Table 2 – The influence of fertilization on the biometric parameters of sunflower microgreens

Вариант / Variant	Масса побегов, г/м ² / Weight of shoots, g/m ²		Высота побегов, см / Height of shoots, cm
	сырая / fresh	сухая / dry	
Контроль (вода) / Control (water)	3268,0±11,5	186,3±2,7	8,8±0,3
Раствор минерального удобрения / Mineral fertilizer solution	3306,6±14,1	215,7±2,4	8,6±0,5
1,0%-й экстракт зоокомпоста / 1.0% zoocompost extract	3421,6±12,9	274,5±2,4	10,6±0,3

Изменения в урожае отразились на биохимическом составе микрорзелени, за исключением накопления флавоноидов. Корреляционный анализ Пирсона показал отсутствие значимых различий между вариантами ($r = 0,01$; $p > 0,05$) (табл. 3). Фиксированные значения последних во всех вариантах указывают на генетическую детерминированность и низкую чувствительность подсолнечника к краткосрочному воздействию исследуемых режимов питания на ранней фазе вегетации. Их синтез, вероятно, запускается либо при наличии ярко выраженного стресса [48], либо на более поздних стадиях развития подсолнечника [49], особенно в соцветиях [50]. Внесение минерального удобрения повысило содержание общего хлорофилла и фенолов в биомассе, тогда как добавка экстракта зоокомпоста лучше сработала в отношении синтеза каротиноидов.

Умеренный синтез фенолов в варианте с экстрактом зоокомпоста указывает на форми-

рование сбалансированного антиоксидантного статуса растений без индукции стрессовых нагрузок как на минеральном фоне и синергии данного класса с накоплением каротиноидов. Уровни накопления нитратов во всех вариантах изменялись в пределах 386–514 мг/кг, что существенно ниже уровня СаНПиН для культур открытого и закрытого грунта (табл. 3). Отдельного норматива на видовую микрорзелень пока не существует. Этот результат согласуется с данными, полученными в другой работе, где исследование проводилось с использованием 17 видов микрорзелени, принадлежащих к семи различным ботаническим семействам [51]. Стоит отметить, что внесение экстракта зоокомпоста немного снижало концентрацию NO³⁻, что очевидно связано с медленной минерализацией азота [52, 53]. Раствор минерального удобрения, напротив, увеличил содержание нитратов в зеленой биомассе.

Таблица 3 – Биохимический состав и содержание нитратов в микрозелени подсолнечника при различных условиях выращивания /

Table 3 – Biochemical composition and nitrate content in sunflower microgreens under different growing conditions

Вариант / Variant	Общий хлорофилл, мг/100 г / Total chlorophyll, mg/100 g	Каротиноиды, мг/100 г / Carotenoids, mg/100 g	Флавоноиды, мг/г / Flavonoids, mg/g	Содержание нитратов, мг/кг / Nitrate content, mg/kg	Общее содержание фенолов, мг/г / Total phenol content, mg/g
Контроль (вода) / Control (water)	14,6±2,6	162,3±21,7	27,2±1,8	456,7±71,2	8,7±2,6
Раствор минерального удобрения / Mineral fertilizer solution	16,4±1,2	186,1±43,7	27,1±3,7	513,9±54,5	17,6±1,1
1,0%-й экстракт зоокомпоста / 1.0% zoocompost extract	15,2±0,4	196,8±24,7	27,2±3,7	385,8±85,2	13,3±2,2

Примечание. Содержание нитратов оценивали исходя из их содержания в зеленных культурах (салаты, шпинат, щавель, капуста салатная, петрушка, сельдерей, кинза, укроп и т. д.) для открытого и защищенного грунта – 2000–3000 мг/кг⁵ /

Notes: The nitrate content was estimated based on their content in green crops (lettuce, spinach, sorrel, cabbage, parsley, celery, cilantro, dill, etc.) for open and protected ground – 2000–3000 mg/kg⁵

Анализ аккумуляции макроэлементов выявил увеличение концентрации натрия, калия и кальция (табл. 4). Доля увеличения последнего была больше всех и в среднем по двум вариантам подкормок составила 64 %. В растениях транспорт ионов K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} и Na^+ происходит с участием одних и тех же белков, поэтому данные элементы могут проявлять эффекты синергизма или антагонизма. Особенно важен антагонизм между кальцием и магнием, поскольку они участвуют в одних и тех же процессах, но в итоге оказывают разное действие. В нашем случае оба типа удобрений равноценно повысили содержание Ca без изменения концентрации Mg. Кальций играет важную роль в общем развитии растений, поскольку является структурным компонентом клеточной стенки, участвующим в регуляции ферментов и передаче сигналов при делении клеток. Отмечена умеренно положительная корреляция с сухой биомассой побегов ($r = 0,680$). Увеличение его концентрации может привести к повышению синтеза первичных продуктов фотосинтеза, таких как глюкоза и фруктоза. В микрозелени эти растворимые сахара отвечают за вкус. Из микроэлементов

отмечено увеличение концентрации цинка, ответственного за укрепление иммунной системы и устойчивости растений к стрессам, и марганца, связанного с синтезом хлорофилла. Оба элемента коррелировали с урожайностью ($r = 0,45-0,52$).

В таблице 5 приведены данные, которые обосновывают экономическую выгоду от использования экстракта зоокомпоста в сравнении с раствором минерального удобрения (при пересчете на площадь пятирусной гидрофермы (сити-фермы), равной 4,5 м²). Экономия за цикл роста (7 суток) составляет 32,4 руб. (59,0 %) в пользу применения экстракта зоокомпоста. Если рассчитать рентабельность, то при розничной стоимости микрозелени подсолнечника 1500 руб/кг использование раствора минерального удобрения позволяет получить прибавку биомассы с такой фермы за один цикл роста 173,7 г, или 260,5 руб., а экстракта зоокомпоста – 691,2 г, или 1036,8 руб. За вычетом цены на удобрения чистая прибыль от выращивания микрозелени подсолнечника на растворе минерального удобрения составит 151,6 руб., а на экстракте зоокомпоста – 1014,3 руб. (+569,0 %, $p > 0,001$).

⁵СанПиН 42-123-4619-88. Санитарно-гигиенические нормы «Допустимые уровни содержания нитратов в продуктах растительного происхождения и методы их определения» от 30 мая 1988 года. [Электронный ресурс].

URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/normy/6/sanitarno-gigienicheskie_normy_dopustimye_urovni.html (дата обращения: 13.05.2025).

Таблица 4 – Влияние удобрительного фона на содержание эссенциальных элементов в микрозелени подсолнечника, мг/100 г

Table 4 – The influence of fertilization on the content of essential elements in sunflower microgreens, mg/100 g

Элемент / Element	Контроль (вода) / Control (water)	Раствор минерального удобрения / Mineral fertilizer solution	1,0%-й экстракт зоокомпоста / 1.0% zoocompost extract
N	286,6±6,6	299,6±29,0	294,8±17,7
P	66,6±2,0	71,9±5,9	69,1±4,2
K	139,1±38,2	160,6±39,3	162,7±41,2
Ca	46,4±5,9	76,7±10,9	73,1±10,6
Mg	43,0±8,0	44,6±14,8	39,6±9,3
S	23,3±6,4	34,3±2,9	22,7±9,1
Na	4,3±0,8	5,9±1,6	4,8±1,2
Fe	3,8±3,0	3,6±0,8	4,7±2,5
B	0,9±0,6	1,3±0,1	1,3±0,4
Zn	3,0±2,8	10,5±1,0	7,8±1,4
Cu	0,7±0,6	1,8±0,1	1,6±0,4
Mn	2,0±1,6	9,1±1,0	6,5±1,2

Таблица 5 – Сравнительная экономическая эффективность от использования раствора минерального удобрения и экстракта зоокомпоста при выращивании микрозелени подсолнечника на пятирусной сити-ферме

Table 5 – Comparative economic efficiency of using a solution of mineral fertilizer and zoocompost extract in growing sunflower microgreens on a five-tier city farm

Показатель / Indicator	Раствор минерального удобрения / Mineral fertilizer solution	Экстракт зоокомпоста / Zoocompost extract
Стоимость концентрата, руб/л / Cost of concentrate, P / l	1628,0	10,0
Концентрация рабочего раствора / Concentration of working solution	1,5 мл на 1 л воды / 1.5 ml per 1 liter of water	1,0 %
Норма полива на сити-ферму, л / Irrigation rate per city farm, l	22,5	22,5
Расход удобрения на сити-ферму, мл / Fertilizer consumption per city farm, ml	33,75	2250,0
Итоговые затраты, руб. / Total costs, P	54,9	22,5
Чистая прибыль, руб / Net profit, P	151,6	1014,3
Рентабельность, % / Profitability, %	276,1	4508,0

Заключение. По итогу проведенного эксперимента можно сделать вывод, что применение 1,0%-го водного экстракта зоокомпоста *H. illucens* демонстрирует эффективность, сопоставимую с раствором минерального удобрения, а по отдельным биохимическим параметрам и показателям урожайности даже превосходит его. Позитивное воздействие экстракта, безусловно, определяется исходным рационом питания личинок, однако, в любом случае производимое сырьё оказывается экономически

выгоднее раствора минерального удобрения. Кроме того, неорганические удобрения преимущественно активизируют ростовые процессы, не вовлекая защитные системы растений. В отличие от этого, экстракт зоокомпоста индуцирует умеренный стресс, что стимулирует выработку защитных антиоксидантных соединений, таких как каротиноиды. Благодаря пролонгированному эффекту действия, обусловленному постепенным гидролизом компонентов и медленному высвобождению (минерализации)

азота, экстракт зоокомпоста оптимизирует питание в системе субстрат-растение, что снижает накопление нитратов и усиливает синтез вторичных метаболитов. Таким образом, сочетание экономической эффективности и комплексного воздействия на физиологию растений делает зоокомпост и экстракт из него перспективной альтернативой традиционным

агрохимикатам. Крупномасштабное производство зоокомпоста может быть ориентировано на местный рынок. Мелкие производители будут способны диверсифицировать свои источники дохода, а крупные коммерческие предприятия смогут расширяться и выходить на экспортные рынки.

References

1. Khan F. A., Dar Z. M., Dey P., Khan F. U., Amir M., Moinuddin K. D. et al. Microgreens: A New Class of Vegetable with Superfood Potential. *American Journal of Biomedical Science and Research*. 2024;24(1):577–579. DOI: <https://doi.org/10.34297/AJBSR.2024.24.003151>
2. Partap M., Sharma D., Deekshit H. N., Thakur M., Verma V., Bhargava B. Microgreen: A tiny plant with superfood potential. *Journal of Functional Foods*. 2023;107:105697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105697>
3. Gunjal M., Singh J., Kaur J., Kaur S., Nanda V., Sharma A., Rasane P. Microgreens: cultivation practices, bioactive potential, health benefits, and opportunities for its utilization as value-added food. *Food Bioscience*. 2024;62(1):105133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105133>
4. Lone J. K., Pandey R., Gayacharan. Microgreens on the rise: Expanding our horizons from farm to fork. *Heliyon*. 2024;10(4):e25870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25870>
5. Zhang Y., Xiao Z., Ager E., Kong L., Tan L. Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture. *Journal of Future Foods*. 2021;1(1):58–66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.07.001>
6. Ilakiya T., Parameswari E., Davamani V., Prakash V. Microgreens – Combating Malnutrition Problem. *Biotica Research Today*. 2020;2(5):110–112. URL: https://www.researchgate.net/publication/341976939_Microgreens_-_Combating_Malnutrition_Problem
7. Salisu M. A., Oyebamiji Y. O., Ahmed O. K., Shamsudin N. A., Fairuz Y. S. et al. A systematic review of emerging trends in crop cultivation using soilless techniques for sustainable agriculture and food security in post-pandemic. *AIMS Agriculture and Food*. 2024;9(2):666–692. DOI: <https://doi.org/10.3934/agrfood.2024036>
8. Bhaswant M., Shanmugam D. K., Miyazawa T., Abe C., Miyazawa T. Microgreens-A Comprehensive Review of Bioactive Molecules and Health Benefits. *Molecules*. 2023;28(2):867. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28020867>
9. Guo S., Ge Y., Na Jom K. A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common sunflower seed and sprouts (*Helianthus annuus* L.). *Chemistry Central Journal*. 2017;11:95. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0328-7>
10. Hassama P., Sirinupong M., Ruangrak E. Comparing sources of nitrogen fertilizer on growth in sunflower microgreens. *Journal of Food Science and Agricultural Technology*. 2022;6(S):52–58. URL: https://www.researchgate.net/publication/366400475_Comparing_Sources_of_Nitrogen_Fertilizer_on_Growth_in_Sunflower_Microgreens
11. Kumar, Varun T., Verma R. A Comprehensive Review on Soilless Cultivation for Sustainable Agriculture. *Journal of Experimental Agriculture International*. 2024;46(6):193–207. DOI: <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i62470>
12. Paraschivu M., Cotuna O., Sărățeanu V., Durău C. C., Păunescu R. A. Microgreens-current status, global market trends and forward statements. *Scientific papers-series management economic engineering in agriculture and rural development*. 2021;21(3):633–640. URL: https://www.researchgate.net/publication/357839471_MICROGREENS_-_CURRENT_STATUS_GLOBAL_MARKET_TRENDS_AND_FORWARD_STATEMENTS
13. Singh A., Singh J., Kaur S., Gunjal M., Kaur J., Nanda V. et al. Emergence of microgreens as a valuable food, current understanding of their market and consumer perception: A review. *Food Chemistry X*. 2024;23:101527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101527>
14. Ferreira M. E., Henschel J. M., Olivoto T., Batista D. S., Zeist A. R. Research on microgreens: a bibliometric analysis. *Vegetos*. 2024;37:1589–1601. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42535-023-00699-x>
15. Puente L., Char C., Patel D., Thilakarathna M. S., Roopesh M. S. Research Trends and Development Patterns in Microgreens Publications: A Bibliometric Study from 2004 to 2023. *Sustainability*. 2024;16(15):6645. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16156645>
16. Мельникова К. М. Влияние органических удобрений на развитие микрозелени. *Научный журнал молодых ученых*. 2025;(2(42)):20–24. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82546909> EDN: JWDDAL
17. Melnikova K. M. The effect of organic fertilizers on the development of microgreens. *Nauchny zhurnal molodikh uchenikh*. 2025;(2(42)):20–24. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82546909>
17. Poudel P., Duenas A. E. K., Di Gioia F. Organic waste compost and spent mushroom compost as potential growing media components for the sustainable production of microgreens. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1229157. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1229157>

18. Малишевский М. Р., Тарасов С. С., Михалев Е. В. Получение и исследование гидропонных кормов и микрозелени на основе экологически чистого органического удобрения. Основы и перспективы органических биотехнологий. 2020;(2):29–32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43859779> EDN: CMBPFB
Malishevsky M. R., Tarasov S. S., Mikhalev E. V. Production and research of hydroponic feeds and micro-green on the basis of ecologically pure organic fertilizer. *Osnovi i perspektivi organicheskikh biotekhnologii*. 2020;(2):29–32. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43859779>
19. Пухальский Я. В., Воробьев Н. И., Лоскутов С. И., Чукаева М. А., Глушаков Р. И., Бабыка А. В., Мещеряков Д. Д., Якубовская А. И. Нейросетевой анализ влияния внешних факторов на микроэлементный профиль и биомассу микрозелени *Brássica júncea* L. Техника и технология пищевых производств. 2024;54(1):48–59. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2487> EDN: LDPNKY
Pukhalsky Ya. V., Vorobyov N. I., Loskutov S. I., Chukaeva M. A., Glushakov R. I., Babyka A. V., Meshcheryakov D. D., Yakubovskaya A. I. Neurosetevoy analiz vliyaniya vneshnikh faktorov na mikroelementny profil i biomassu mikrozeleni *Brássica júncea* L. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevikh proizvodstv = Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(1):48–59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2487>
20. Пендюрин Е. А., Рыбина С. Ю., Смоленская Л. М. Использование зоокомпоста Черной львинки в качестве органического удобрения. *Аграрная наука*. 2020;(7-8):106–110. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110> EDN: QZHTPU
Pendyrin E. A., Rybina S. Yu., Smolenskaya L. M. Using the zoo compost of the Black Lioness as an organic fertilizer. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2020;(7-8):106–110. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110>
21. Elissen H., van der Weide R., Gollenbeek L. Effects of Black Soldier Fly Frass on Plant and Soil Characteristics: A Literature Overview. 2023;527:913–996. DOI: <https://doi.org/10.1874/587213>
22. Jalil N., Abdullah S., Ahmad I., Basri N., Mohamed Z. Decomposition of food waste from protein and carbohydrate sources by black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* L. *Journal of Environmental Biology*. 2021;42:756–761. DOI: [https://doi.org/10.22438/jeb/42/3\(SI\)/JEB-04](https://doi.org/10.22438/jeb/42/3(SI)/JEB-04)
23. Beesigamukama D., Mochoge B., Korir N. K., Fiaboe K. K., Nakimbugwe D., Khamis F. M. et al. Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly. *Waste Management*. 2021;119:183–194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.043>
24. Пендюрин Е. А., Здоровцов В. А., Рыбина С. Ю., Святченко А. В. Агрохимические характеристики зоокомпоста личинок насекомого Черная львинка. *Агрохимический вестник*. 2024;(3):59–62. DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-3-010> EDN: ATGUIC
Pendyrin E. A., Zdrovtsov V. A., Ribina S. Yu., Svyatchenko A. V. Agrochemical characteristics of zoocompost black soldier fly larvae. *Agrokhimichesky vestnik = Agrochemical Herald*. 2024;(3):59–62. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-3-010>
25. Beesigamukama D., Mochoge B., Korir N., Menale K., Muriithi B., Kidoido M. et al. Economic and ecological values of frass fertiliser from black soldier fly agro-industrial waste processing. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2022;8(3):245–254. DOI: <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0013>
26. Lopes I. G., Yong J. W., Lalander C. Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives. *Waste Management*. 2022;142:65–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.007>
27. Gärttling D., Schulz H. Compilation of black soldier fly frass analyses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2022;22:937–943. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00703-w>
28. Green T. R., Popa R. Enhanced ammonia content in compost leachate processed by black soldier fly larvae. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2012;166:1381–1387. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12010-011-9530-6>
29. Sarpong D. E., Oduro-Kwarteng S., Gyasi S. F., Buamah R., Donkor E., Awuah E., Baah M. K. Biodegradation by composting of municipal organic solid waste into organic fertilizer using the black soldier fly (*Hermetia illucens*) (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2019;8(4):45–54. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0268-4>
30. Basri N. E. A., Azman N. A., Ahmad I. K., Suja F., Jalil N. A. A., Amrul N. F. Potential applications of frass derived from black soldier fly larvae treatment of food waste: A review. *Foods*. 2022;11(17):2664. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11172664>
31. Schmitt E., de Vries W. Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 2020;25:100335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.03.005>
32. Siddiqui S. A., Gadge A. S., Hasan M., Rahayu T., Povetkin S. N., Fernando I., Castro-Muñoz R. Future opportunities for products derived from black soldier fly (BSF) treatment as animal feed and fertilizer – A systematic review. *Environment, Development and Sustainability*. 2024;26:30273–30354. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04673-8>
33. Subramaniam S., Chew H. L. A Review of The Effects of Light-Emitting Diodes (LEDs) on The Growth of Sunflower Microgreens and Their Nutritional Potential. *Malaysian Applied Biology*. 2024;53(5):1-13. DOI: <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v53i5.3033>

34. Пухальский Я. В., Лоскутов С. И., Сидорова В. Р., Якубовская А. И., Мещеряков Д. Д., Каменева И. А. Использование гермикомпоста *Hermetia illucens* в технологии выращивания микрозелени бобовых культур. *Аграрная наука*. 2024;(4):101–107. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107> EDN: CFKHLA
Puhalsky J. V., Loskutov S. I., Sidorova V. R., Yakubovskaya A. I., Meshcheryakov D. D., Kameneva I. A. Use of *Hermetia illucens* hermicompost in the technology of growing legume microgreens. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2024;(4):101–107. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107>
35. Шинкарев С. М., Аксенов С. И., Тарасов С. И. Применение зоогумуса в качестве органического удобрения в защищенном грунте. *Плодородие*. 2008;(4):17–18.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12799669> EDN: KUCMFP
Shinkarev S. M., Aksenov S. I., Tarasov S. I. Application of zoohumus as organic fertilizer in the protected ground. *Plodorodie*. 2008;(4):17–18. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12799669>
36. Romano N., Powell A., Islam S., Fischer H., Renukdas N., Sinha A. K., Francis S. Supplementing aquaponics with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae frass tea: effects on the production and composition of sweet potato slips and sweet banana peppers. *Aquaculture*. 2022;555:738160.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738160>
37. Fuhrmann A., Wilde B., Conz R. F., Kantengwa S., Konlambigue M., Masengesho B. et al. Residues from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae rearing influence the plant-associated soil microbiome in the short term. *Frontiers in Microbiology*. 2022;13:994091. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.994091>
38. Chavez M. Y., Villa Ignacio A., Craver J. K., Bousset J. Investigating Black Soldier Fly Larval (*Hermetia illucens*) Frass Applications as a Partial Peat Replacement and Liquid Fertilizer in Brassicaceae Crop Production. *Agrochemicals*. 2025;4(2):8. DOI: <https://doi.org/10.3390/agrochemicals4020008>
39. Surendra K., Tomberlin J. K., van Huis A., Cammack J. A., Heckmann L.-H. L., Khanal S. K. Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF) Waste management. 2020;117:58–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.050>
40. Scala A., Cammack J. A., Salvia R., Scieuzo C., Franco A., Bufo S. A. et al. Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae produced at an industrial scale. *Scientific Reports*. 2020;10(1):19448. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76571-8>
41. Song S., Ee A. W. L., Tan J. K. N., Cheong J. C., Chiam Z., Arora S. et al. Upcycling food waste using black soldier fly larvae: Effects of further composting on frass quality, fertilising effect and its global warming potential. *Journal of Cleaner Production*. 2020;288:125664. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125664>
42. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 2001;1(1):F4.3.1–F4.3.8.
DOI: <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
43. Gu D. D., Wang W. Z., Hu J. D., Zhang X. M., Wang J. B., Wang B. S. Nondestructive determination of total chlorophyll content in maize using three-wavelength diffuse reflectance. *Journal of Applied Spectroscopy*. 2016;83:541–547. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10812-016-0325-y>
44. Chutimanukul P., Wanichananan P., Janta S., Toojinda T., Clive D., Kriengkrai M. The influence of different light spectra on physiological responses, antioxidant capacity and chemical compositions in two holy basil cultivars. *Scientific Reports*. 2022;12:588. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04577-x>
45. Cataldo D. A., Haroon M., Schrader L. E., Youngs V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1975;6(1):71–86.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00103627509366547>
46. Senila M. Recent Advances in the Determination of Major and Trace Elements in Plants Using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry. *Molecules*. 2024;29(13):3169.
DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules29133169>
47. Yener I. Trace element analysis in some plants species by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). *Journal of the Institute of Science and Technology*. 2019;9(3):1492–1502.
DOI: <https://doi.org/10.21597/jist.517739>
48. Ma D., Guo Y., Ali I., Lin J., Xu Y., Yang M. Accumulation characteristics of plant flavonoids and effects of cultivation measures on their biosynthesis: A review. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2024;215:108960.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108960>
49. Gai F., Karamac M., Janiak M. A., Amarowicz R., Peiretti P. G. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Plants at Various Growth Stages Subjected to Extraction–Comparison of the Antioxidant Activity and Phenolic Profile. *Antioxidants*. 2020;9(6):535. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox9060535>
50. Sharma B. An analyses of flavonoids present in the inflorescence of sunflower. *Brazilian Journal of Botany*. 2019;42:421–429. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-019-00552-z>
51. Di Gioia F., Hong J. C., Pisani C., Petropoulos S. A., Bai J., Roskopf E. N. Yield performance, mineral profile, and nitrate content in a selection of seventeen microgreen species. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1220691.
DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1220691>

52. Beesigamukama D., Mochoge B., Korir N., Ghemoh C. J., Subramanian S., Tanga C. M. In situ nitrogen mineralization and nutrient release by soil amended with black soldier fly frass fertilizer. *Scientific Reports*. 2021;11(1):14799. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94269-3>

53. Gutser R., Ebertseder T., Weber A., Schraml M., Schmidhalter U. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2005;168(4):439–446. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.200520510>

Сведения об авторах

✉ **Пухальский Ян Викторович**, научный сотрудник лаборатории структурной переработки биоресурсов, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН», Литейный пр., 55, г. Санкт-Петербург, 191014, Российская Федерация, e-mail: vniipakk55@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5233-3497>, e-mail: puhalskyyan@gmail.com

Лоскутов Святослав Игоревич, кандидат с.-х. наук, заведующий лаборатории промышленных биотехнологических инноваций, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН», Литейный пр., 55, г. Санкт-Петербург, 191014, Российская Федерация, e-mail: vniipakk55@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

Осипов Анатолий Иванович, доктор с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский просп., д. 14, г. Санкт-Петербург, 195220, Российская Федерация, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

Якубовская Алла Ивановна, кандидат биол. наук, заведующая отделом сельскохозяйственной микробиологии, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, 295453, Российская Федерация, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8434-2689>

Турковская Валерия Романовна, инженер-исследователь, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский просп., д. 14, г. Санкт-Петербург, 195220, Российская Федерация, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8854-0461>

Каменева Ирина Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией физиологии и экологии микроорганизмов, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, 295453, Российская Федерация, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3914-7184>

Information about the authors

✉ **Jan V. Puhalsky**, researcher, the Laboratory of Structural Processing of Bioresources, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center of Food Systems of RAS, Liteiny Ave., 55, St. Petersburg, 191014, Russian Federation, e-mail: vniipakk55@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5233-3497>, e-mail: puhalskyyan@gmail.com

Svyatoslav I. Loskutov, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Industrial Biotechnological Innovations, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center of Food Systems of RAS, Liteiny Ave., 55, St. Petersburg, 191014, Russian Federation, e-mail: vniipakk55@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

Anatoly I. Osipov, DSc in Agricultural Science, professor, chief researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky Prospekt, 14, St. Petersburg, 195220, Russian Federation, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

Alla I. Yakubovskaya, PhD in Biological Science, Head of the Department of Agricultural Microbiology, Research Institute of Agriculture of Crimea, Kyiv St., 150, Simferopol, 295453, Russian Federation, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8434-2689>

Valeria R. Turkovskaya, research engineer, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky Prospekt, 14, St. Petersburg, 195220, Russian Federation, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8854-0461>

Irina A. Kameneva, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Physiology and Ecology of Microorganisms, Research Institute of Agriculture of Crimea, Kyiv St., 150, Simferopol, 295453, Russian Federation, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3914-7184>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Изменение термического сопротивления снежного покрова при мелиорации земель в криолитозоне

© 2025. А. Ф. Галкин✉, М. Н. Железняк, А. Ф. Жирков

ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация

Приведен краткий обзор исследований по изучению вариативности термического сопротивления снежного покрова и расчетных формул по определению коэффициента теплопроводности снега. Цель работы – установление закономерностей изменения термического сопротивления снежного покрова при снежной мелиорации путем трамбования. Для достижения цели введен критерий, представляющий собой отношение начального теплового сопротивления к тепловому сопротивлению после трамбования снежного покрова. Рассмотрено два практически интересных случая (полного и частичного трамбования), когда плотность снега после трамбования является постоянной и переменной величиной по глубине. Показано, что область допущения о постоянной плотности при трамбовании имеет достаточно узкий диапазон доверия и в практических расчетах необходимо учитывать, что под нагрузкой снежный покров уплотняется не полностью. Расчетные значения представлены в обобщенной безразмерной форме, учитывающей произвольный показатель степени в аппроксимирующей формуле определения коэффициента теплопроводности от плотности снега. Установлено, что вид функциональной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности снега существенно влияет на результаты расчетов термического сопротивления снежного покрова. Определены предельные значения коэффициента уплотнения снежного покрова, которые позволяют в расчетах термического сопротивления не превышать допустимой в инженерной практике ошибки (10,0 %). Например, для случая линейной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности допустимое значение коэффициента уплотнения не должно превышать значения, равного 1,25, для квадратичной зависимости – 1,11. Результаты вариантных расчетов по формулам представлены в виде 2D- и 3D-графиков, что позволяет наглядно убедиться в обоснованности принятых допущений и сделанных выводов.

Ключевые слова: снежный покров, уплотнение, мелиорация, коэффициент теплопроводности, термическое сопротивление, плотность снега, расчет, ошибка

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук (НИОКТР № 122011800062-5 «Тепловое поле и криогенная толща Северо-Востока России. Особенности формирования и динамика»).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Галкин А. Ф., Железняк М. Н., Жирков А. Ф. Изменение термического сопротивления снежного покрова при мелиорации земель в криолитозоне. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1355–1364. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1355-1364>

Поступила: 23.07.2025 Принята к публикации: 08.12.2025 Опубликована онлайн: 26.12.2025

Change in thermal resistance of snow cover by land reclamation in cryolithozone

© 2025. Aleksandr F. Galkin✉, Mikhail N. Zheleznyak, Aleksandr F. Zhirkov

Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

A brief review of research on variation of thermal resistance of snow cover and formulas to determine the thermal conductivity coefficient of snow are presented. This article aims to establish the regularities of variation in thermal resistance of snow when compressive melioration is applied to the snow cover. A criterion consisting of ratio of initial thermal resistance to the thermal resistance after compression is introduced. Two practically relevant cases, a full and partial compression, whereby the snow density after compression is a constant and a variable respectively, are considered. It is demonstrated that the area where it can be assumed that the snow density after compression is a constant has a low confidence interval and in practical applications it needs to be accounted for that the snow cover is not fully compressed under load. The calculation results are presented in a generalized dimensionless form that includes an indicator of arbitrary exponent in an approximated formula to determine the thermal conductivity coefficient from snow density. It has been established that the type of functional dependence of thermal conductivity coefficient on snow density has a significant influence on the calculation results of the thermal resistance of snow cover. The boundary values of snow compression coefficient within the permissible error level (10 %) were found. For example, for a linear dependence of the thermal conductivity coefficient on density the permissible compression coefficient is no higher than 1.25. For a quadratic dependence, it is 1.11. The results of variant calculations are presented as 2D and 3D charts, which allow quickly assessing the assumptions and conclusions.

Keywords: snow cover, compression, melioration, thermal conductivity coefficient, thermal resistance, snow density, calculation, error

Acknowledgements: the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (R&D No. 122011800062-5 "Thermal field and cryogenic stratum of the North-East of Russia. Features of formation and dynamics").

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

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

For citation: Galkin A. F., Zheleznyak M. N., Zhirkov A. F. Change in thermal resistance of snow cover by land reclamation in criolithozone. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1355–1364. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1355-1364>

Received: 23.07.2025

Accepted for publication: 08.12.2025

Published online: 26.12.2025

Снежный покров является важным элементом природной среды, во многом определяющим тепловой режим гелиотермозоны (зоны годовых теплооборотов). Исследованию термического сопротивления снежного покрова уделяется большое внимание в научном и инженерном сообществе. Это вызвано как проблемой прогноза и реконструкции влияния изменения климата на температурный режим криолитозоны, так и поиском и разработкой новых способов и средств снежной мелиорации грунтов [1, 2, 3]. Исследования, выполненные сотрудниками Института географии РАН, доказали зависимость тепловой устойчивости криолитозоны от термического сопротивления снежного покрова. В работе [4], например, отмечается, что неправильный расчет термического сопротивления снежного покрова может привести к недооценке техногенного влияния потепления климата на выбор стратегических решений при оценке надежности технических объектов в криолитозоне. Влияние снежного покрова на палеонтологическую точность «реконструкции влияния изменения климата на тепловой режим криолитозоны» исследовано в работах [5, 6]. В частности, авторы пришли к выводу, что «... при повышении средней годовой температуры воздуха на $+0,04$ °C/год либо при увеличении мощности снежного покрова на 30 % и повышении средней годовой температуры воздуха на $+0,02$ °C/год произойдет достижение глубины протаивания кровли ледового комплекса и начнется деградация верхней толщи ледового комплекса Центральной Якутии. Температуры грунтов восточных районов Центральной Якутии слабее реагируют на потепление климата, проявляя устойчивость до повышения средней годовой температуры воздуха более чем на $0,04$ °C/год в отличие от левобережья р. Лены, что связано с распределением снежного покрова...» [5, стр. 231]. Снежный покров, по результатам данных исследований, позволяет существенно изменять прогнозируемые сроки оттаивания вечной мерзлоты. Показано, что «... при тренде $0,02$ °C/год и без изменения высоты снежного покрова глубина сезонного

оттаивания на межгалазьях достигнет кровли льдистых пород в 2093 году. При тренде $0,04$ °C/год и приращении снежного покрова на 30 % глубина протаивания достигнет горизонта подземного льда в 2036–2041 гг. на западных многоснежных районах, а в восточных малоснежных – 2050–2061 гг.» [5, стр. 232]. Установлено, что отепляющее влияние снега является одним из основных факторов, определяющих формирование теплового режима криолитозоны как в прошлом, так и будущем.

Различные виды снежной мелиорации широко используются в сельском хозяйстве для улучшения плодородия почв [1, 2]. В научных работах ряда авторов отмечается эффективность и перспективность использования методов водной и снежной мелиорации для восстановления нарушенных термокарстом сельскохозяйственных земель криолитозоны [7, 8]. Нарушение обычно происходит при наличии в зоне теплового влияния поверхности льдонасыщенных грунтов или ледяных линз. Вовлечение таких земель в сельскохозяйственный оборот приводит к увеличению глубины деятельного слоя с консолидацией грунта при оттаивании и образованию на поверхности многочисленных «криогенных кратеров» с последующим прогрессирующим нарушением поверхности, приводящим к образованию траншей и оврагов. Процесс восстановления земель заключается, прежде всего, в снижении глубины деятельного слоя грунта (слоя промерзания-оттаивания). Этого можно добиться путем понижения температуры деятельного слоя грунтов в зимний период и увеличения влажности пород деятельного слоя в теплый период года, то есть комплексной зимней и летней мелиорацией грунтов. Если в средней полосе страны главной задачей зимней мелиорации является снижение глубины промерзания и увеличение влагоёмкости снежного покрова (то есть увеличение толщины снежного покрова), то в криолитозоне, наоборот, целью является снижение толщины снежного покрова для уменьшения его термического сопротивления. При этом и в том, и в другом случаях стоит задача увеличения

влажности деятельного слоя. Это может быть достигнуто с помощью управления состоянием снежного покрова трамбованием. Снежная мелиорация позволяет добиться уменьшения термического сопротивления снежного покрова без снижения его влагоемкости.

При расчетах термического сопротивления снежного покрова, как и любой слоистой структуры, важно учитывать его стратиграфию, т. е. наличие слоев из снега разного вида и различной плотности [9, 10]. В работе [9, стр. 63], например, доказывается, «... что игнорирование стратиграфии снежного покрова при расчёте термического сопротивления может увеличить значение последнего более чем в 1,5 раза. В результате расчётная скорость промерзания грунта в холодный период возрастает, тогда как реальное промерзание будет меньше, и можно пропустить момент опасного снижения прочности грунта и начало деградации многолетней мерзлоты». В работе [11] показано, что существует оптимальное соотношение термических сопротивлений отдельных элементов слоистой структуры, при котором можно считать всю слоистую структуру однородной с постоянными характеристиками, равными некоторой средней величине. В работе [12] выполнена оценка точности расчета коэффициента теплопроводности двухслойного снежного покрова, в зависимости от степени уплотнения одного из слоев. Рассмотрены два подхода в определении коэффициента теплопроводности: слоистой структуры; эквивалентной однородной структуры, имеющей постоянную среднюю плотность. Установлено, что при уплотнении одного из слоев, менее чем в 2 раза (коэффициент уплотнения $k < 2,0$) применение понятия «средняя плотность снежного покрова» в тепловых расчетах по определению термического сопротивления снежного покрова, является вполне допустимым. При увеличении степени уплотнения одного из слоев более чем в 2 раза необходимо определять коэффициент теплопроводности каждого слоя и рассчитывать общее термическое сопротивление снежного покрова как сумму термических сопротивлений отдельных слоев.

Цель исследований – установить основные закономерности изменения термического сопротивления снежного покрова при снежной мелиорации путем трамбования.

Научная новизна – установлены основные количественные закономерности, связывающие термическое сопротивление с коэффициентом

уплотнения снежного покрова при полном и частичном трамбовании.

Материал и методы. Различают два вида трамбования в зависимости от толщины снежного покрова и прилагаемой нагрузки: полное и частичное. При полном трамбовании происходит практически равномерное изменение плотности снежного покрова в пределах нового слоя. Это характерно для трамбования снежного покрова небольшой высоты и при больших нагрузках на поверхность (использование строительных катков), а также при трамбовании снега путем полива водой или увлажнения паром. При частичном трамбовании изменяется структура и плотность снега только в приповерхностном слое, глубина которого меньше нового уплотненного снежного покрова. Новый уплотненный покров представляет собой двухслойную структуру, в нижней части которого сохраняются первоначальные свойства снега, а в верхнем слое плотность снега изменяется от максимального значения, зависящего от приложенной нагрузки, до минимального, равного первоначальной плотности снежного покрова. В рассматриваемой постановке задачи будем считать, что плотность начального слоя до трамбования является постоянной величиной, т. е. структура снега по всему слою одинаковая [13]. Для оценки эффективности трамбования снежного покрова (уменьшение термического сопротивления) введем критерий β , характеризующий степень изменения начального термического сопротивления снежного покрова при трамбовании.

Степень уменьшения термического сопротивления снежного покрова можно определить по формуле:

$$\beta = R_1/R_2 = (h_1/h_2)(\lambda_2/\lambda_1), \quad (1)$$

где β – безразмерный критерий эффективности; R – термическое сопротивление снежного покрова, $\text{м}^2/\text{ВтК}$; h – толщина снежного покрова, м ; λ – коэффициент теплопроводности снега, Вт/мК ; индексы 1 и 2 относятся к естественному и уплотненному снежному покрову соответственно.

Используя понятие «коэффициент уплотнения снежного покрова, $k = h_1/h_2$ » и принимая во внимание, что зависимость коэффициента теплопроводности снега от плотности является степенной функцией вида [14, 15, 16] $\lambda = c\rho^n$, где ρ – плотность снега, кг/м^3 , можно записать следующее равенство:

$$\beta = (R_1/R_2) = k(\lambda_2/\lambda_1) = k(c\rho_2^n/c\rho_1^n) = k\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^n = k^{n+1}. \quad (2)$$

Если считать, что зависимость коэффициента теплопроводности снега от плотности линейная ($n = 1$) [17], то это соотношение преобразуется к виду

$$\beta = (R_1/R_2) = k^2. \quad (3)$$

Легко показать, что, учитывая большое разнообразие видов снежного покрова и вариативности его плотности от множества параметров, любую частную нелинейную зависимость можно легко линеаризовать без больших потерь точности. То есть, при линеаризации функции результаты вычислений всегда будут находиться в доверительном интервале искомой величины.

Для наглядности и объективной оценки влияния вида выбранной функциональной зависимости коэффициента теплопроводности снега от плотности на конечный результат рассмотрим 2 варианта: линейную и квадратичную зависимость. Для возможных других вариантов рассмотрим общую теоретическую зависимость с произвольным показателем степени.

При выводе выражения (2) мы считали, что выполняется соотношение $\rho_2 = k\rho_1$, то есть весь снежный покров до поверхности земли равномерно уплотнен. Это допущение справедливо в том случае, если нагрузка на поверхность снежного покрова достаточно большая, а толщина снежного покрова незначительная. Обоснование данного допущения приведено в работе [18], где получена зависимость изменения плотности снега после прохода автомобиля на пневмошинах, построенная по обобщающим данным для различных типов снега:

$$\rho_2 = \rho_1(l/(l - z)), \quad (4)$$

где ρ_2 – плотность снега на дне колеи в центральной части, кг/м³; ρ_1 – начальная плотность снега, кг/м³; l – толщина снега на проезжей части, м; z – деформация снега пневмоколесом, м.

Деформацию снега оценивали только на основании экспериментальных данных.

Учитывая, что в принятых обозначениях l – это h_1 , а $(z - l) - h_2$ и $(h_1/h_2) = k$ можно записать $\rho_2 = \rho_1 k$. В принципе это равенство следует из простого и очевидного положения, что масса снега при уплотнении не изменяется.

Действительно, поскольку масса снега при уплотнении остается постоянной, можно записать следующее равенство:

$$M_1 = M_2 \text{ или } \rho_1 h_1 S_1 = \rho_2 h_2 S_2,$$

где M_1, M_2 – масса снега до и после уплотнения, кг; S_1, S_2 – площадь поверхности, м²; ρ_1, ρ_2 – плотность снега до и после уплотнения, кг/м³.

Откуда получим (при очевидном условии $S_1 = S_2 = 1$): $\rho_2 = \rho_1(h_1/h_2) = k\rho_1$. Что, как и следовало ожидать, полностью совпадает с экспериментально полученной формулой в работе [18].

Если толщина снежного покрова достаточно большая, а нагрузка при уплотнении позволяет изменить плотность лишь на части общей высоты (то есть, уплотняется только небольшой верхний слой снежного покрова, а ниже остается естественный слой с первоначальными физическими характеристиками), то плотность верхнего слоя после уплотнения может быть определена как среднеинтегральное значение по глубине. При этом выполняются следующие граничные условия:

$$\rho(h = h_1 - h_2) = \rho_1 \text{ и } \rho(h = h_2) = \rho_2. \quad (5)$$

Средняя плотность верхнего слоя определяется по формуле:

$$\rho_{\text{ср}} = (1/(h_1 - h_2)) \int_{h_1}^{h_2} \rho(h) dh. \quad (6)$$

При известной нагрузке на поверхность снежного покрова при трамбовании глубина зоны изменения плотности снега может быть определена по известной формуле А. Фёпля [в изложении 19]. Согласно результатам исследований, приведенным в работе [20], приближенно можно считать, что изменение плотности по глубине является линейной функцией от координаты. В этом случае среднеинтегральное значение плотности уплотненного слоя будет равно среднеарифметическому:

$$\rho_{\text{ср}} = \rho_1(k + 1)/2. \quad (7)$$

Параметр β определится из выражения (учитывая, что в этом случае, $\rho_{\text{ср}} = \rho_2$)

$$\beta = (R_1/R_2) = k((k + 1)/2)^n. \quad (8)$$

Процентная невязка (степень разногласия) результатов расчетов по формуле, учитывающей изменение плотности снежного покрова по глубине при трамбовании (8) и не учитывающей (2), можно определить по следующей формуле:

$$e = \text{abs}\{1 - \beta(8)/\beta(2)\} * 100 \%. \quad (9)$$

Подставив в данное выражение формулы (2) и (8), получим:

$$e = \text{abs}\{1 - [(k + 1)/2k]^n\} * 100 \%. \quad (10)$$

Для практических расчетов представляет интерес определить, при каком значении коэффициента уплотнения при расчете термического сопротивления можно не учитывать зависимость изменения плотности снежного покрова по глубине. То есть, расхождение результатов расчетов не превысит значения, допустимого в инженерной практике, которое обычно

принимают равным 10,0 %. В этом случае для $n = 1$ (линейная зависимость коэффициента теплопроводности от плотности снега) из (10) получим $k \leq 1,25$. Для случая $n = 2$ значение допустимого коэффициента уплотнения должно быть меньше или равно величине $k \leq 1,11$.

Результаты и их обсуждение. Для достижения цели по полученным формулам были проведены варианты расчетов, результаты которых для наглядности представлены в графической форме.

На рисунке 1 даны изменения термического сопротивления снежного покрова при

уплотнении снега. Голубым (верхняя часть на графике – кривые 1 и 2) и зеленым (нижняя часть на графике – кривые 3 и 4) цветом выделены области изменения критерия β при использовании в расчетах квадратичной ($n = 2$) и линейной ($n = 1$) зависимости коэффициента теплопроводности снега от плотности соответственно. Нижняя граница областей соответствует случаю «полного трамбования слоя», то есть, плотность слоя не изменяется по глубине, верхняя граница областей, выделенных цветом на рисунке, соответствует переменной плотности утрамбованного слоя по толщине от ρ_2 до ρ_1 .

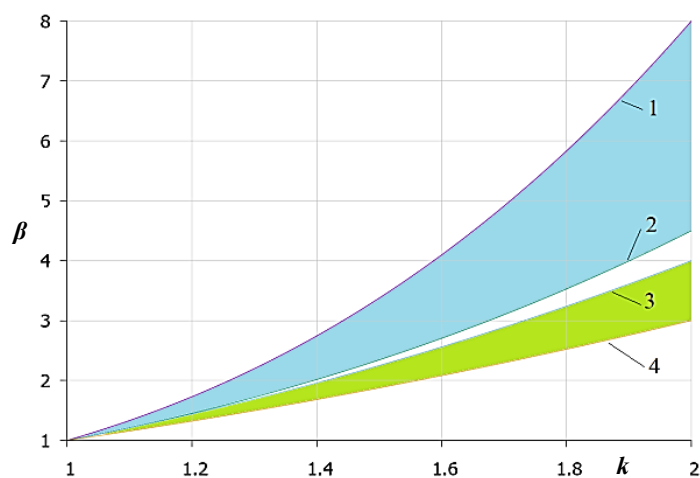


Рис. 1. Изменение термического сопротивления снежного покрова при уплотнении (критерий β) с учетом (кривые 2 и 4) и без учета (кривые 1 и 3) изменения плотности по глубине: 3, 4 – при линейной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности; 1, 2 – при квадратичной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности (k) /

Fig. 1. Change in thermal resistance of compressed snow cover (β criterion) accounting for (curves 2 and 4) and not accounting for (curves 1 and 3) change in density over depth: 3, 4 when the dependence of thermal conductivity coefficient on density is linear; 1-2 quadratic dependence of thermal conductivity coefficient on density (k)

Сравнение графиков на рисунке показывает, что выбор вида функциональной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности снега оказывает существенное влияние на конечный результат – определение величины изменения термического сопротивления снежного покрова при трамбовании (критерий β). Причем, чем больше значение коэффициента уплотнения, тем разница в результатах расчетов больше. Эта закономерность наблюдается как для случая квадратичной, так и линейной функциональной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности снега. Сравнение областей, выделенных голубым и зеленым цветом, позволяет сделать вывод, что, чем больше уровень нелинейности рассматриваемой функции (чем выше показатель степени n в зависимости $\lambda = c\rho^n$), тем уровень разногласия результатов расчета терми-

ческого сопротивления как при учете изменения плотности снега по толщине слоя, так и без учета этого фактора, также будет больше. При этом с ростом коэффициента уплотнения степень разногласия результатов расчета будет увеличиваться в обоих случаях. Например, при коэффициенте уплотнения, равном 1,5, параметр β для случая линейной зависимости ($n = 1$) при учете неравномерной плотности снежного покрова по глубине составляет 2,25, а без учета – 1,88, то есть изменяется в 1,2 раза. При коэффициенте уплотнения 2,0 параметр β увеличивается с 3,0 до 4,0, т. е. в 1,3 раза. Аналогично, для случая квадратичной зависимости ($n = 2$) при коэффициенте уплотнения 1,5 значения составят – 2,3 и 3,4 (критерий β увеличивается в 1,5 раза), при коэффициенте уплотнения, равном 2,0 – 4,5 и 8,0 (увеличение в 1,8 раза).

Причем абсолютные значения критерия β при использовании квадратичной зависимости, как при учете изменения плотности снега по глубине слоя, так и без учета этого фактора почти в 2 раза превышают показатели критерия β , вычисленного при показателе степени, равном единице.

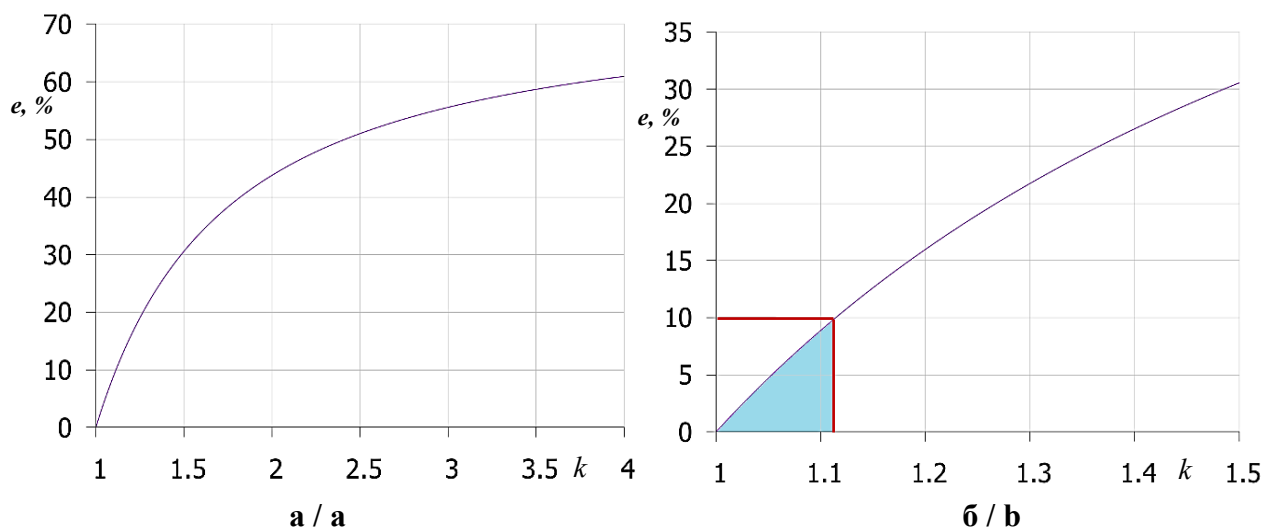


Рис. 2. Степень разногласия расчетов термического сопротивления снежного покрова при уплотнении (e , %) с учетом и без учета изменения плотности по глубине при квадратичной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности: а) при изменении коэффициента уплотнения (k) от 1,0 до 4,0; б) область допустимого значения степени разногласия результатов в зависимости от коэффициента уплотнения /

Fig. 2. Degree of discrepancy in calculations of thermal resistance of compressed snow cover (e , %) accounting for and not accounting for change in density over depth with a quadratic dependence of thermal conductivity coefficient on depth: а) by the change in thermal conductivity coefficient (k) from 1.0 to 4.0; б) area of permissible discrepancy of results depending on compression coefficient

Цветом на рисунке выделена область допустимой погрешности (степени разногласия) в расчетах по формулам (2) и (8), предельным значением которой является коэффициент уплотнения, равный 1,11. Как видно из графиков на рисунке, степень разногласия результатов повышается с увеличением коэффициента уплотнения и может достигать значений в разы, превышающий допустимый (10,0 %) в инженерной практике уровень. Например, при коэффициенте уплотнения, равном 2,0, степень разногласия составляет почти 45 % и повышается до 60 % при увеличении коэффициента уплотнения в 2 раза. Область же допустимых значений достаточно мала и ограничена коэффициентом уплотнения – 1,11. То есть можно говорить о том, что во всех, практически значимых случаях, при частичном трамбовании снежного покрова необходимо учитывать изменение плотности по глубине утрамбованного слоя.

На рисунке 2 приведены графики, характеризующие процентную степень разногласия результатов расчета термического сопротивления при уплотнении с учетом и без учета изменения плотности по глубине снежного покрова при квадратичной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности.

На рисунке 3 приведены аналогичные (рис. 2) кривые для случая линейной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности снега.

Сравнение кривых на рисунках 2 и 3 показывает, что в случае линейной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности снега степень разногласия в среднем в 1,5 меньше, чем при квадратичной зависимости. Доверительный диапазон расчетов термического сопротивления в этом случае увеличивается и составляет 1,25 по значению коэффициента уплотнения. Для обобщенной характеристики уровня процентного разногласия в расчетах термического сопротивления при полном и частичном трамбовании построен трехмерный график зависимости параметра e от коэффициента уплотнения k и показателя степени аппроксимирующей зависимости n , который представлен на рисунке 4.

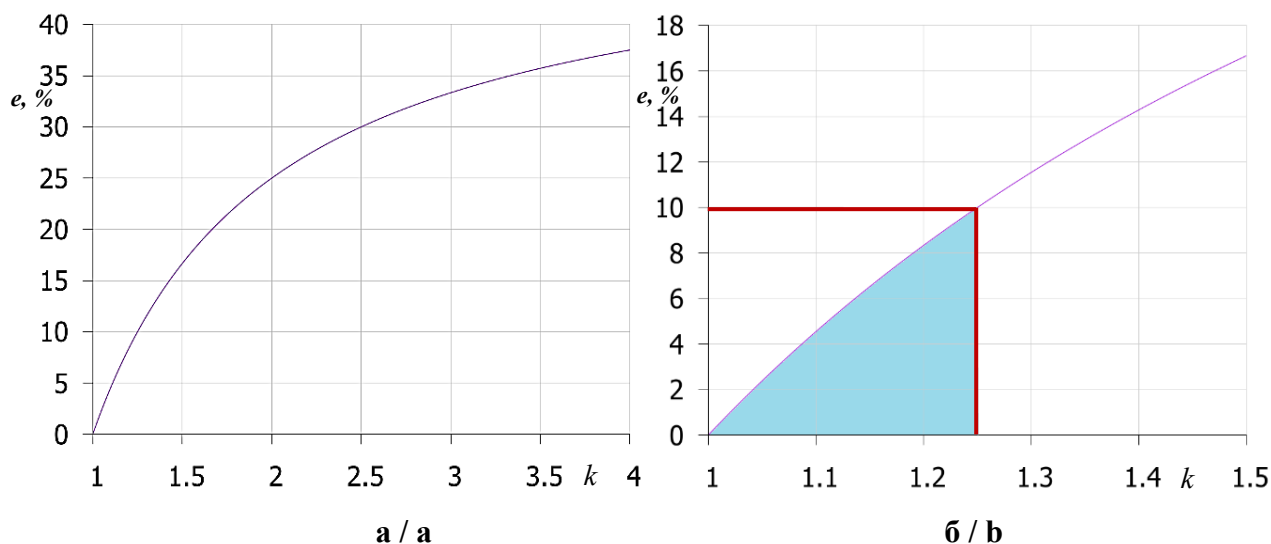


Рис. 3. Степень разногласия расчетов термического сопротивления снежного покрова при уплотнении (e , %) с учетом и без учета изменения плотности по глубине при линейной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности: а) при изменении коэффициента уплотнения (k) от 1,0 до 4,0; б) область допустимого значения степени разногласия результатов в зависимости от коэффициента уплотнения /

Fig. 3. The degree of disagreement in calculations of thermal resistance of snow cover during compaction (e , %) taking into account and without taking into account changes in density over depth with a linear dependence of the coefficient of thermal conductivity on density: а) when the coefficient of compaction (k) changes from 1.0 to 4.0; б) the range of acceptable values of the degree of disagreement of the results depending on the coefficient of compaction

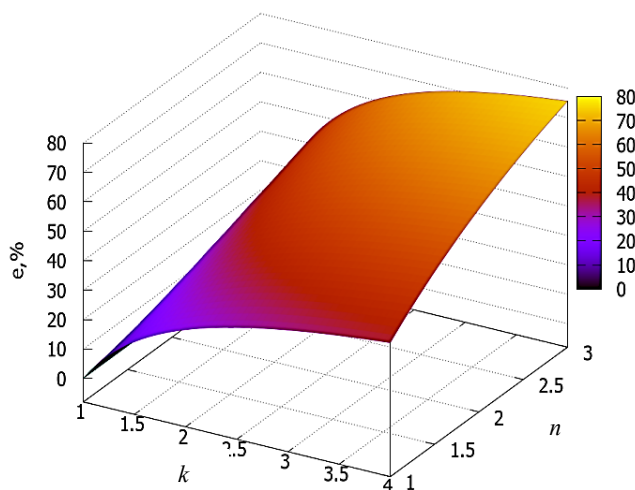


Рис. 4. Степень разногласия результатов расчетов e термического сопротивления снежного покрова при уплотнении k , с учетом и без учета изменения плотности по глубине, при изменении показателя степени n нелинейной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности снега /

Fig. 4. The degree of disagreement between the results of calculations e of the thermal resistance of the snow cover during compaction k , taking into account and without taking into account the change in density in depth, with a change in the index of degree n of nonlinear dependence of the coefficient of thermal conductivity on the density of snow

Анализ цветовой дифференциации плоскости на рисунке 4 наглядно подтверждает ранее сделанные выводы о существенной зависимости расчета термического сопротивления как от вида трамбования (полное или частичное), так и от вида функциональной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности снега. Очевиден также и тот

факт, что доверительная область составляет незначительную часть (менее 1,25 по коэффициенту уплотнения) и не может служить основанием применения формул для расчета термического сопротивления при полном трамбовании снежного покрова и термического сопротивления уплотненного слоя при его частичном трамбовании.

Заключение. Исследовано влияние частичного и полного трамбования снежного покрова на изменение его термического сопротивления при проведении мелиоративных работ. Получены простые аналитические зависимости, позволяющие сравнить степень изменения термического сопротивления снежного покрова при полном и частичном трамбовании с учетом вида функциональной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности снега. В частности, установлено, что вид функциональной зависимости играет существенную роль при оценке эффективности снежной мелиорации трамбованием. При этом результаты расчетов термического сопротивления могут отличаться на величину, кратно превышающую допустимую в инженерной практике. Так, в случае выбора линейной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности снега степень разногласия результатов расчетов в среднем в 1,5 меньше, чем при выборе квадратичной

зависимости. Показано, что существует область, ограниченная значением коэффициента уплотнения, когда результаты расчетов термического сопротивления мало зависят от вида трамбования при снежной мелиорации. При линейной зависимости коэффициента теплопроводности от плотности снега эта область ограничена значением коэффициента уплотнения 1,25, а при квадратичной – 1,11. Обоснован вывод о нецелесообразности применения формул для расчета термического сопротивления при полном трамбовании снежного покрова и термического сопротивления уплотненного слоя при его частичном трамбовании.

Дальнейшие исследования в данной области целесообразно направить на изучение влияния частичного и полного трамбования снежного покрова на температурный режим и изменение скорости промерзания-оттаивания деятельного слоя грунта.

Список литературы

1. Шульгин А. М. Снежная мелиорация и климат почвы. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 70 с.
2. Шульгин А. М. Снежный покров и его использование в сельском хозяйстве. Л.: Гидрометеоздат, 1962. 84 с.
3. Железняк И. И., Сакисян Р. М. Методы управления сезонным промерзанием грунтов в Забайкалье. Новосибирск: Наука, 1987. 128 с.
4. Котляков В. М., Сосновский А. В. Оценка термического сопротивления снежного покрова по температуре грунта. Лёд и Снег. 2021;61(2):195–205. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2076673421020081> EDN: XPBXXL
5. Новоприезжая В. А., Федоров А. Н. Реконструкция палеотемператур грунтов ледового комплекса Центральной Якутии в голоцене. Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2024;29(2):224–234. DOI: <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-224-234> EDN: PIEXUU
6. Fedorov A. N., Novopriezzhasya V. A., Fedorov N. A., Konstantinov P. Y., Samsonova V. V. Retrospective Analysis of Permafrost Landscape Evolution in Yakutia during the Holocene Warm Intervals. Land. 2020;9(11):463. DOI: <https://doi.org/10.3390/land9110463>
7. Жирков А. Ф., Сивцев М. А. Оценка возможности восстановления защитного слоя в условиях Центральной Якутии. Мониторинг в криолитозоне: сб. докл. Шестой конф. геокриологов России с участ. российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов. М.: изд-во "КДУ", "Добросвет", 2022. С. 444–450.
8. Zhirkov A., Sivtsev M., Lytkin V., Séjourné A., Wen Z. An Assessment of the Possibility of Restoration and Protection of Territories Disturbed by Thermokarst in Central Yakutia, Eastern Siberia. Land. 2023;12(1):197. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010197>
9. Осокин Н. И., Сосновский А. В., Чернов Р. А. Влияние стратиграфии снежного покрова на его термическое сопротивление. Лёд и Снег. 2013;53(3):63–70. DOI: <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-3-63-70> EDN: RFLXDZ
10. Кириллин А. Р., Железняк М. Н., Жирков А. Ф., Мисайлов И. Е., Верхотуров А. Г., Сивцев М. А. Особенности снегонакопления и параметры снежного покрова на Эльконском горном массиве. Вестник Забайкальского государственного университета. 2020;26(7):62–76. DOI: <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2020-26-7-62-76> EDN: FOCISC
11. Галкин А. Ф. Эквивалентное термическое сопротивление дорожной одежды. Арктика и Антарктика. 2022;(3):129–138. Режим доступа: https://www.nbpublish.com/library_read_article.php?id=38777
12. Галкин А. Ф., Панков В. Ю., Васильева М. Р. Коэффициент теплопроводности снежного покрова. Строительные материалы. 2024;(10):62–67. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-829-10-62-67> EDN: QLQRFF
13. Fierz C., Armstrong R. L., Durand Y., Etchevers P., Green E., McClung D. M. et al. The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. IHP-VII Technical Documents in Hydrology no. 83. IACS Contribution no. 1. Paris: UNESCO–IHP, 2009. 80 p. URL: https://www.geobotany.org/library/pubs/FierzeC2009_snow_classif_UNESCO.pdf

14. Fukusako S. Thermophysical properties of ice, snow, and sea ice. *International Journal of Thermophysics*. 1990;11(2):353–372. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01133567>
15. Calonne N., Milliancourt L., Burr A., Philip A., Martin C. L., Flin F., Geindreau C. Thermal conductivity of snow, firn, and porous ice from 3-D image-based computations. *Geophysical Research Letters*. 2019;46(22):13079–13089. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019GL085228>
16. Sturm M., Holmgren J., König M., Morris K. The thermal conductivity of seasonal snow. *Journal of Glaciology*. 1997;43(143):26–41. DOI: <https://doi.org/10.3189/S002214300002781>
17. Yen Y.-C. Review of the thermal properties of snow, ice and sea ice. NH: Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1981. 27 p. URL: <https://books.google.com.au/books?id=fh8xyamPxIC>
18. Shapiro L. H., Johnson J. B., Sturm M., Blaisdell G. L. Snow Mechanics Review of the State of Knowledge and Applications. Cold Regions Research and Engineering Laboratory, CRREL, 1997. 126 p. URL: <https://www.inscc.utah.edu/~campbell/snowdynamics/reading/Shapiro.pdf>
19. Борисов В. А., Акинин Д. В., Паюл А. Д. Изменения плотности снега при сжимающей нагрузке. *Resources and Technology*. 2021;18(3):77–91. DOI: <https://doi.org/10.15393/j2.art.2021.5843> EDN: LMQJYF
20. Кручинин И. Н. Формирование снежного наката с заданными свойствами на лесовозных автомобильных дорогах. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2012;(1(325)):38–41. Режим доступа: https://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/?ELEMENT_ID=34565

References

1. Shul'gin A. M. Snow reclamation and soil climate. Leningrad: *Gidrometeoizdat*, 1986. 70 p.
2. Shul'gin A. M. Snow cover and its use in agriculture. Leningrad: *Gidrometeoizdat*, 1962. 84 p.
3. Zheleznyak I. I., Sakisyan R. M. Methods of managing seasonal soil freezing in Transbaikalia. Novosibirsk: *Nauka*, 1987. 128 p.
4. Kotlyakov V. M., Sosnovskiy. A. V. Estimation of the thermal resistance of snow cover based on the ground temperature. *Led i Sneg = Ice and Snow*. 2021;61(2):195–205. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2076673421020081>
5. Novopriezzhasaya V. A., Fedorov A. N. Reconstruction of the paleotemperature of the Central Yakutia Ice Complex during the Holocene period. *Prirodnie resursi Arktiki i Subarktiki = Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2024;29(2):224–234. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-224-234>
6. Fedorov A. N., Novopriezzhasaya V. A., Fedorov N. A., Konstantinov P. Y., Samsonova V. V. Retrospective Analysis of Permafrost Landscape Evolution in Yakutia during the Holocene Warm Intervals. *Land*. 2020;9(11):463. DOI: <https://doi.org/10.3390/land9110463>
7. Zhirkov A. F., Sivtsev M. A. Assessment of the possibility of restoring the protective layer in the conditions of Central Yakutia. Monitoring in the cryolithozone: collection of reports of the sixth conference of geocryologists of Russia with participation of Russian and foreign scientists, engineers and specialists. Moscow: *izd-vo "KDU", "Dobrosvet"*, 2022. pp. 444–450.
8. Zhirkov A., Sivtsev M., Lytkin V., Séjourné A., Wen Z. An Assessment of the Possibility of Restoration and Protection of Territories Disturbed by Thermokarst in Central Yakutia, Eastern Siberia. *Land*. 2023;12(1):197. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010197>
9. Osokin N. I., Sosnovsky A. V., Chernov R. A. Influence of snow cover stratigraphy on its thermal resistance. *Led i Sneg = Ice and Snow*. 2013;53(3):63–70. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-3-63-70>
10. Kirillin A. R., Zheleznyak M. N., Zhirkov A. F., Misaylov I. E., Verkhoturov A. G., Sivtsev M. A. Features of snow accumulation and snow cover parameters on the Elkon mountain range. *Vestnik Zabaykalskogo gosudarstvennogo universiteta = Transbaikal State University Journal*. 2020;26(7):62–76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2020-26-7-62-76>
11. Galkin A. F. Equivalent thermal resistance of the road surface. *Arktika i Antarktika = Arctic and Antarctica*. 2022;(3):129–138. (In Russ.). URL: https://www.nbpublish.com/library_read_article.php?id=38777
12. Galkin A. F., Pankov V. Yu., Vasileva M. R. Thermal conductivity of snow cover. *Stroitelnie materialy = Construction materials*. 2024;(10):62–67. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-829-10-62-67>
13. Fierz C., Armstrong R. L., Durand Y., Etchevers P., Green E., McClung D. M. et al. The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. IHP-VII Technical Documents in Hydrology no. 83. IACS Contribution no. 1. Paris: UNESCO-IHP, 2009. 80 p. URL: https://www.geobotany.org/library/pubs/FierzeC2009_snow_classif_UNESCO.pdf
14. Fukusako S. Thermophysical properties of ice, snow, and sea ice. *International Journal of Thermophysics*. 1990;11(2):353–372. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01133567>
15. Calonne N., Milliancourt L., Burr A., Philip A., Martin C. L., Flin F., Geindreau C. Thermal conductivity of snow, firn, and porous ice from 3-D image-based computations. *Geophysical Research Letters*. 2019;46(22):13079–13089. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019GL085228>

16. Sturm M., Holmgren J., König M., Morris K. The thermal conductivity of seasonal snow. *Journal of Glaciology*. 1997;43(143):26–41. DOI: <https://doi.org/10.3189/S002214300002781>
17. Yen Y.-C. Review of the thermal properties of snow, ice and sea ice. NH: Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1981. 27 p. URL: <https://books.google.com.au/books?id=fh8xyamPxIC>
18. Shapiro L. H., Johnson J. B., Sturm M., Blaisdell G. L. Snow Mechanics Review of the State of Knowledge and Applications. Cold Regions Research and Engineering Laboratory, CRREL, 1997. 126 p. URL: <https://www.inscc.utah.edu/~campbell/snowdynamics/reading/Shapiro.pdf>
19. Borisov V. A., Akinin D. V., Payul A. D. Some issues of changing snow density under compressive load. *Resources and Technology*. 2021;18(3):77–91. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15393/j2.art.2021.5843>
20. Kruchinin I. N. Formation of Predesigned Packed Snow Surface of Logging Roads. *Izvestiya visshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal = Bulletin of Higher Educational Institutions. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*. 2012;(1(325)):38–41 (In Russ.). URL: https://lesnoyjournal.ru/issuesarchive/?ELEMENT_ID=34565

Сведения об авторах

✉ **Галкин Александр Фёдорович**, доктор техн. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории геотермии криолитозоны, ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Мерзлотная, д. 36, г. Якутск, Российская Федерация, 677010, e-mail: mpi@ysn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5924-876X>, e-mail: afgalkin@mail.ru

Железняк Михаил Николаевич, доктор геол.-минерал. наук, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник лаборатории геотермии криолитозоны, ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, Российская Федерация, 677010, e-mail: mpi@ysn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4124-6579>

Жирков Александр Федотович, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геотермии криолитозоны, ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, Российская Федерация, 677010, e-mail: mpi@ysn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6721-5338>

Information about the authors

✉ **Aleksandr F. Galkin**, DSc in Engineering, professor, chief researcher, the Laboratory of Cryolithozone Geothermy, Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 36, Permafrost Str., Yakutsk, Russian Federation, 677010, e-mail: mpi@ysn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5924-876X>, e-mail: afgalkin@mail.ru

Mikhail N. Zheleznyak, DSc of Geological and Mineralogical Science, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, the Laboratory of Cryolithozone Geothermy, Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 36, Permafrost Str., Yakutsk, Russian Federation, 677010, e-mail: mpi@ysn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4124-6579>

Aleksandr F. Zhirkov, PhD in Engineering, leading researcher, the Laboratory of Cryolithozone Geothermy, Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 36, Permafrost Str., Yakutsk, Russian Federation, 677010, e-mail: mpi@ysn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6721-5338>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1365-1374>

УДК 636.088.31:577.17

Влияние температуры окружающей среды на продуктивные качества и биологические особенности бычков черно-пестрой породы в ранний период постнатального онтогенеза

© 2025. О. А. Завьялов✉, А. Н. Фролов

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», г. Оренбург, Российская Федерация

Цель исследования – выявление зависимости между температурой окружающей среды и продуктивностью, минеральным и антиоксидантным статусом бычков в ранний период постнатального онтогенеза. Исследования проводили в Оренбургской области на бычках черно-пестрой породы, которые в зависимости от сезона рождения были разделены на три группы: I – зимний сезон рождения (декабрьский отел); II – весенний сезон рождения (мартовский отел); III – летний сезон рождения (июньский отел). Кормление и содержание было аналогичным для животных всех изучаемых групп на протяжении всего периода эксперимента. Установлено, что, начиная с 3-месячного возраста, бычки II группы превосходили сверстников из I и III групп по живой массе и величине среднесуточного прироста. Интенсивный рост бычков сопровождался увеличением содержания в крови глюкозы, общего белка, альбуминов, холестерина, эритроцитов и гемоглобина. Животные II группы характеризовались повышенной активностью супероксиддисмутазы и каталазы на фоне относительно низкой концентрации малонового диальдегида. Высокая температура окружающей среды способствовала повышению концентраций в волосе бычков летнего сезона рождения Hg, V, Cr, Pb, As и снижению Mg, P, K, Ca, Sr, Na, B, Mn, I по сравнению с бычками весеннего сезона рождения. Бычки зимнего сезона рождения имели промежуточные показатели по концентрации химических элементов между указанными группами.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, сезон рождения, живая масса, элементный статус, состав крови

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (тема № FNWZ-2024-0001).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Фролов А. Н., Завьялов О. А. Влияние температуры окружающей среды на продуктивные качества и биологические особенности бычков черно-пестрой породы в ранний период постнатального онтогенеза. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1365–1374. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1365-1374>

Поступила: 09.04.2025

Принята к публикации: 28.11.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

The influence of ambient temperature on the productive traits and biological peculiarities of Black-and-White bulls in the early period of postnatal ontogenesis

© 2025. Oleg A. Zavyalov✉, Alexey N. Frolov

Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation

The objective of this study was to identify the relationship between ambient temperature and the productivity, mineral, and antioxidant status of bull calves during the early period of postnatal ontogenesis. The research was conducted in the Orenburg region on Black-and-White bull calves which were divided into three groups according to the season of their birth: Group I – winter calving season (December calving), Group II – spring calving season (March calving), Group III – summer calving season (June calving). Feeding and keeping were similar for all animals in the studied groups throughout the experimental period. It was found that, starting from 3 months of age, the bull calves in Group II surpassed their peers from Groups I and III in terms of live weight and average daily gain. The intensive growth of the bull calves was accompanied by an increase in the blood concentrations of glucose, total protein, albumins, cholesterol, erythrocytes, and hemoglobin. The animals in Group II were characterized by increased activity of superoxide dismutase and catalase against a background of a relatively low concentration of malondialdehyde. High ambient temperature contributed to increased concentrations of Hg, V, Cr, Pb, and As and decreased concentrations of Mg, P, K, Ca, Sr, Na, B, Mn, and I in the hair of bull calves from the summer calving season compared to those from the spring calving season. Bull calves from the winter calving season had intermediate concentrations of chemical elements between the mentioned groups.

Keywords: cattle, birth season, live weight, element status, blood composition

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 Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (theme No. FNWZ -2024-0001).

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: Frolov A. N., Zavyalov O. A. The influence of ambient temperature on the productive traits and biological peculiarities of Black-and-White bulls in the early period of postnatal ontogenesis. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1365-1374. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1365-1374>

Received: 09.04.2025

Accepted for publication: 28.11.2025

Published online: 26.12.2025

Сезонные изменения температуры существенно сказываются на потреблении и усвоении корма крупным рогатым скотом (КРС) [1]. Для взрослых особей крупного рогатого скота оптимальным является температурный диапазон от +5 до +25 °С, обеспечивающий максимальную эффективность кормления и усвоения питательных веществ [2]. Отклонение от указанного интервала инициирует тепловой стресс, который в свою очередь активирует ряд защитных физиологических реакций, что выражается в сокращении потребления кормов рациона, ухудшении конверсии питательных веществ корма в продукцию, изменении скорости метаболических процессов, повышенных потерях жидкости за счёт учащённого дыхания и пототделения, а также дисбалансе гормонального фона [3]. Все эти факторы в совокупности негативно влияют на общее состояние организма животного и его продуктивность. Когда температура воздуха достигает отметки +25...+27 °С, происходит незначительное снижение потребления корма. Но настоящая проблема начинается при подъеме столбика термометра выше +30 °С – в таких условиях потребление корма может упасть на 20–40 % и даже больше, если сравнивать с нормальной температурой [4]. Из-за жары организм коров начинает работать в стрессовом режиме. Организм пытается справиться с перегревом, включая защитные механизмы для поддержания нормальной температуры тела. Данные процессы отличаются высокой энергоёмкостью, что существенно снижает продуктивность [5]. При повышении температуры окружающей среды потребление корма сокращается. Эта реакция является адаптивным механизмом, поскольку уменьшение объёма потребляемого корма приводит к снижению теплопродукции в процессе пищеварения и метаболизма, что предотвращает перегрев организма. За этот сложный процесс отвечает особая часть мозга – гипоталамо-гипофизарная система, действующая как умный термостат, который анализирует температуру окружающей среды и решает,

сколько корма нужно животному в данный момент для поддержания нормальной температуры тела [6].

Экстремальные температуры существенно влияют на потребность животных в минералах [7]. Особенно это заметно у стельных коров в жаркую погоду, когда из-за снижения аппетита у них нарушается баланс микроэлементов, что сказывается не только на их собственном здоровье, но и на состоянии будущих телят. При уменьшении потребления корма животное получает меньше минералов с пищей, при этом, отсутствие коррекции рациона по минеральным веществам неизбежно вызывает дефицит эссенциальных элементов [8]. В настоящее время при разработке нормативно-кормовой базы для КРС не учитывается степень воздействия негативных климатических факторов окружающей среды на потребность в минералах. Существующие в настоящее время нормы потребления макро- и микроэлементного звена рационов не дифференцируются в привязке к температурному режиму (экстремально высокая и низкая температура) и иным факторам внешней среды. Данное обстоятельство сопровождается недостаточным поступлением в организм сельскохозяйственных животных химических элементов, критически важных для адаптации к экстремальным условиям.

Цель исследований – оценить влияние температуры окружающей среды на продуктивность, минеральный и антиоксидантный статус и другие параметры организма бычков.

Научная новизна – получены новые данные о влиянии высоких и низких температур в ранний период онтогенеза на биологические особенности и продуктивные качества бычков черно-пестрой породы.

Материал и методы. Объектом исследования служили бычки чёрно-пестрой породы, кровь, волосы.

Экспериментальные исследования проводили в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977

«О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных»¹), протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009²). Все процедуры над животными выполняли согласно правилам Комитета по этике животных Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ФГБНУ АФНЦ БСТ РАН).

При проведении исследований были предприняты все необходимые меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследования проводили в 2024-2025 гг. в условиях СПК колхоз "Красногорский" Оренбургской области на бычках черно-пестрой породы, которые в зависимости от сезона рождения были разделены на три группы по 20 голов в каждой: I – бычки зимнего сезона рождения (декабрьский отел); II – бычки весеннего сезона рождения (мартовский отел); III – бычки летнего сезона рождения (июньский отел).

Кормление и содержание животных изучаемых групп было аналогичным на протяжении всего периода эксперимента. Рационы кормления соответствовали рекомендуемым нормам для данной половозрастной группы, живого веса и продуктивности³. В первые 2 недели жизни телята находились в индивидуальных клетках, по истечении которых переводились на групповое содержание. Температура окружающей среды для бычков I группы в среднем составляла -8,7 °C и -14,4 °C в дневное и ночное время, для II и III групп – +13,1 °C и +6,3 °C; +28,3 °C и +22,1 °C соответственно.

Продуктивные качества бычков оценивали по динамике живой массы за период от рождения до 6 месяцев путем ежемесячных индивидуальных взвешиваний с дальнейшим расчётом среднесуточного прироста.

У бычков в возрасте 45 суток отбирали образцы крови из хвостовой вены в вакуумные

пробирки APEXLAB с антикоагулянтом (EDTA) и с активатором свертывания (Hebei Xinl Sky&Tech Co., Ltd, Китай), для забора крови использовали иглы Bodaywin. От каждого животного было отобрано три пробирки крови по 6 мл, одна для крови и две – для сыворотки. Сыворотку крови отделяли центрифугированием образцов при скорости 1000 об/мин в течение 10 мин. Пробирки охлаждали до температуры 18 °C и хранили до момента проведения анализа.

Оценку антиоксидантного статуса и перекисного окисления липидов производили на основании изучения уровня каталазы, супероксиддисмутазы и малонового диальдегида. Активность ферментов супероксиддисмутазы и каталазы определяли по скорости убыли перекиси водорода в среде инкубации, концентрацию перекиси водорода – по реакции с молибдатом аммония. Содержание малонового диальдегида оценивали с использованием реакции с тиобарбитуровой кислотой спектрофотометрическим методом.

Оборудование и технические средства. Для определения живой массы подопытных бычков использовали платформенные весы «ВСП4-Ж» (Россия). Анализы крови производились на биохимическом автоматическом анализаторе марки Dirui CS-240 («DIRUI», Китай) и морфологическом автоматическом анализаторе DF-50 Vet («Shenzhen Dymind Biotechnology Co», Китай). Биохимический анализ проводили с использованием коммерческих биохимических наборов для ветеринарии ДиаВетТест (Россия) и коммерческих биохимических наборов Randox (США). С целью изучения элементного статуса бычков, одновременно с забором крови производили отбор образцов волос с области верхней части холки. Элементный анализ волос (Na, Mg, P, K, Ca, Mn, Co, Cu, Cr, Fe, Zn, Se, B, Ni, Ga, Ag, In, Ba, Tl, Bi, Al, Sr, Cd, Hg, Pb, As) выполняли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Agilent 7900.

Статистическая обработка. Достоверность различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента при уровне значимости: $P \leq 0,05$; $P \leq 0,01$; $P \leq 0,001$.

¹Приказ Минздрава СССР от 12.08.1977 №755 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных» [Электронный ресурс].

URL: http://primatologia.ru/images/NII/GLP/3_2_prikaz_minzdrava_o_merakh_zhiwotnyh.pdf (дата обращения: 05.07.2024).

²ГОСТ Р 53434-2009. Принципы надлежащей лабораторной практики. М.: Стандартинформ, 2010. 16 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293824/4293824581.pdf>

³Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие. Под ред. А. П. Калашникова, В. И. Фисинина, В. В. Щеглова, Н. Г. Перова. М.: Знание, 2003. 456 с.

Результаты и их обсуждение. Проведенная оценка влияния сезона года на продуктивные качества бычков показала на имею-

щиеся существенные межгрупповые различия, начиная с 3-месячного возраста (табл. 1).

Таблица 1 – Продуктивные качества бычков черно-пестрой породы (n=20) / Table 1 – Productive traits of Black-and-White bulls (n=20)

Показатель / Indicator	Группа – сезон рождения / Group – calving season		
	I – зимний / I – winter	II – весенний / II – spring	III – летний / III – summer
Живая масса, кг / Live weight, kg:			
при рождении / at birth	34,40±0,32	34,50±0,28	34,60±0,36
3 месяца / 3 months	94,80±0,54***	98,30±0,56	92,40±0,62***
6 месяцев / 6 months	169,50±2,13*	178,10±2,88	161,80±2,71**
Среднесуточный прирост, г / Average daily increase, g	750,60±11,20*	797,80±14,50	706,70±12,80*

* Разница достоверна при P≤0,05; ** – при P≤0,01; *** – при P≤0,001 по сравнению со II группой / * The difference is significant at P≤0.05; ** – at P≤0.01; *** – at P≤0.001 compared to group II

Так, по живой массе в возрасте 3-х месяцев бычки II группы (весеннего сезона рождения) превосходили сверстников из I и III групп – на 3,6 (P≤0,001) и 6,4 % (P≤0,001), в возрасте 6 месяцев эта разница составила 5,1 (P≤0,05) и 10,1 % (P≤0,01) соответственно. За период от рождения до 6 месяцев бычки весеннего сезона рождения превосходили особей из I и III групп по величине среднесуточного прироста на 6,3 (P≤0,05) и 12,9 % (P≤0,05).

С целью выявления влияния температуры окружающей среды, обусловленной сезоном рождения телят, на морфологические и биохимические показатели крови подопытных бычков в возрасте 45 суток нами был проведен анализ в разрезе групп (табл. 2, 3). Выбранный возраст бычков обоснован наибольшими колебаниями температуры в период

отбора образцов. Так, для зимнего периода (середина января) температура в дневное время составляла -15...-17 °С, в ночное время – -24...-28 °С; для весеннего периода (середина апреля) – в дневное время +15...+17 °С, в ночное – +11...+13 °С; для летнего периода (середина июля) – в дневное время +33...+36 °С, в ночное – +22...+24 °С. Результаты исследований показали, что бычки весеннего сезона рождения превосходили сверстников зимнего и летнего сезонов рождения по содержанию глюкозы на 28,5 (P≤0,05) и 36,5 % (P≤0,001), общего белка – на 6,6 и 9,4 % (P≤0,05), альбуминов – на 7,8 (P≤0,05) и 15,5 % (P≤0,01), холестерина – на 59,0 (P≤0,01) и 53,8 % (P≤0,01), эритроцитов – на 17,5 (P≤0,01) и 26,9 % (P≤0,001), гемоглобина – на 7,5 (P≤0,05) и 14,4 % (P≤0,01) соответственно.

Таблица 2 – Морфологические показатели крови бычков различных сезонов рождения в возрасте 45 суток (n = 20) / Table 2 – Morphological parameters of blood in bulls of different seasons of birth at the age of 45 days (n = 20)

Показатель / Indicator	Группа – сезон рождения / Group – calving season		
	I – зимний / I – winter	II – весенний / II – spring	III – летний / III – summer
1	2	3	4
Количество лейкоцитов, 10 ⁹ кл/л / Number of leukocytes, 10 ⁹ cells/l	10,82±2,11	9,88±2,16	10,11±2,72
Нейтрофилы, % / Neutrophils, %	32,61±3,17	33,52±3,08	31,78±2,96
Лимфоциты, % / Lymphocytes, %	50,52±8,22	49,34±7,28	51,46±7,34
Моноциты, % / Monocytes, %	6,17±0,88	6,24±1,08	6,34±1,22
Эозинофилы, % / Eosinophils, %	10,22±1,54	10,48±1,46	10,04±1,36
Базофилы, % / Basophils, %	0,48±0,14	0,42±0,11	0,38±0,18

1	2	3	4
Эритроциты, 10 ¹² г/л / Red blood cells, 10 ¹² g/l	5,42±0,68**	6,37±0,72	5,02±0,64***
Концентрация гемоглобина, г/л / Hemoglobin concentration, g/l	109,86±6,42*	118,12±6,27	103,22±4,48**
Гематокрит, % / Hematocrit, %	29,11±3,21	31,22±3,96	27,48±3,18*
Средний объём эритроцитов, фл / Average volume of red blood cells, fl	42,02±1,96	42,49±2,02	41,17±2,01
Средний корпускулярный гемоглобин, пг / Average corpuscular hemoglobin, pg	17,54±1,34	18,14±1,52	16,02±1,34
Средняя концентрация клеточного гемоглобина, г/л / Average concentration of cellular hemoglobin, g/l	329,06±22,02	368,17±20,28	317,02±18,42
Точность повторения ширины распределения эритроцитов, % / The accuracy of repeating the width of the distribution of red blood cells, %	14,48±1,22	16,12±1,06	15,14±1,52
Ширина распределения эритроцитов, фл / Width of red blood cell distribution, fl	23,17±1,69	25,41±2,54	22,89±1,36
Количество тромбоцитов, 10 ⁹ /л / Platelet count, 10 ⁹ /l	268,72±54,17	271,02±64,31	298,17±60,34

* Разница достоверна при P≤0,05; ** – при P≤0,01; *** – при P≤0,001 по сравнению со II группой /
* The difference is significant at P≤0.05; ** – at P≤0.01; *** – at P≤0.001 compared to group II

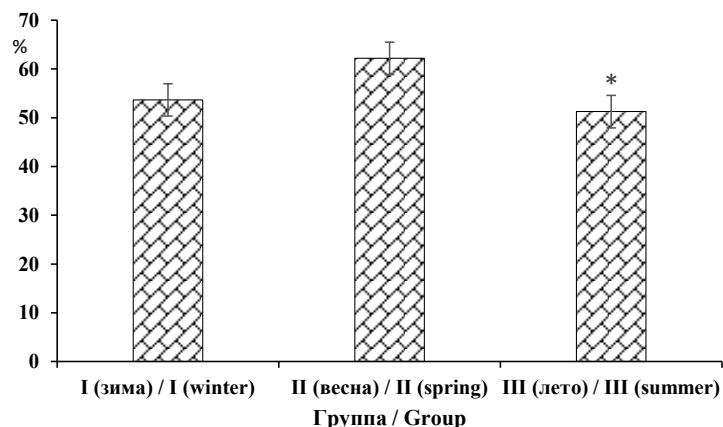
Таблица 3 – Биохимические показатели сыворотки крови бычков различных сезонов рождения в возрасте 45 суток (n = 20) / Table 3 – Biochemical parameters of blood serum of bulls of different birth seasons at the age at the age of 45 days (n = 20)

Показатель / Indicator	Группа – сезон рождения / Group – calving season		
	I – зимний / I – winter	II – весенний / II – spring	III – летний / III – summer
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	2,21±0,39*	2,84±0,38	2,08±0,42***
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	76,28±7,36	81,34±7,52	74,36±7,45*
Альбумин, г/л / Albumin, g/l	34,92±3,88*	37,64±4,53	32,63±4,51**
АЛТ, Ед/л / ALT, Unit/l	18,52±3,06	19,88±3,52	19,02±3,04
АСТ, Ед/л / AST, Unit/l	95,40±12,44	97,62±11,52	95,13±14,36
Билирубин общий, мкмоль/л / Total bilirubin, mcM/l	2,78±0,41	3,10±0,61	2,36±0,73
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l	1,78±0,68**	2,83±0,52	1,84±0,34**
Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mmol/l	0,27±0,12*	0,38±0,11	0,22±0,06**
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	5,06±2,76	4,98±2,34	4,82±3,14
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, mcM/l	79,82±22,34	84,17±22,3	82,03±19,34
Мочевая кислота, мкмоль/л / Uric acid, mcM/l	23,42±11,54	25,92±10,34	24,34±11,88
Железо, мкмоль/л / Iron, mcM/l	27,48±0,68	28,42±1,02	27,64±0,31
Магний, ммоль/л / Magnesium, mmol/l	0,88±0,09	1,05±0,24	0,94±0,08
Кальций, ммоль/л / Calcium, mmol/l	1,52±0,42*	1,88±0,64	1,36±0,34**
Фосфор, ммоль/л / Phosphorus, mmol/l	1,78±0,52	1,96±0,52	1,71±0,48*

* Разница достоверна при P≤0,05; ** – при P≤0,01; *** – при P≤0,001 по сравнению со II группой /
* The difference is significant at P≤0.05; ** – at P≤0.01; *** – at P≤0.001 compared to group II

Оценку состояния системы антиоксидантной защиты проводили по показателям активности ферментов каталазы и супероксид-

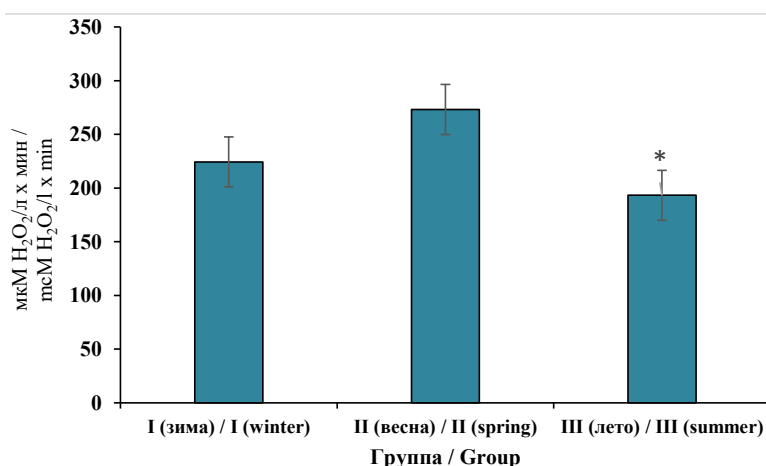
дисмутазы, а также по концентрации малонового диальдегида и выявили существенные межгрупповые различия (рис. 1, 2, 3).



* Разница достоверна при $P \leq 0,05$ по сравнению со II группой / * The difference is significant at $P \leq 0.05$ compared to group II

Рис. 1. Активность супероксиддисмутазы в сыворотке крови бычков черно-пестрой породы различных сезонов рождения в возрасте 45 суток, % /

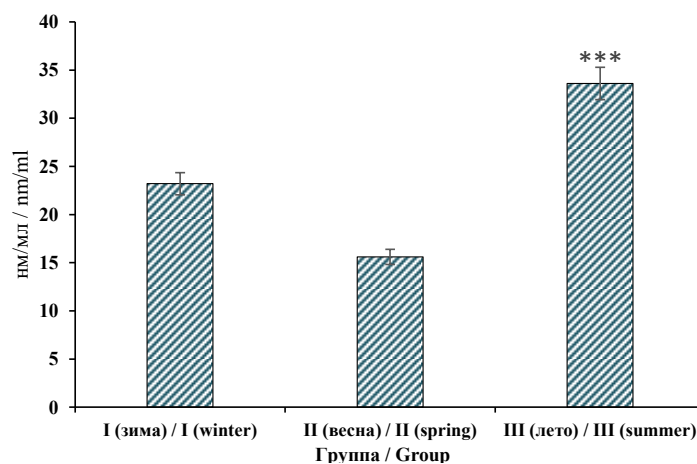
Fig. 1. Superoxide dismutase activity in the blood serum of Black-and-White bull calves of different seasons of birth at the age of 45 days, %



* Разница достоверна при $P \leq 0,05$ по сравнению со II группой / * The difference is significant at $P \leq 0.05$ compared to group II

Рис. 2. Концентрация каталазы в сыворотке крови бычков черно-пестрой породы различных сезонов рождения в возрасте 45 суток, mcM H₂O₂/л × мин /

Fig. 2. Concentration of catalase in the blood serum of Black-and-White bulls of different birth seasons at the age of 45 days, mcM H₂O₂/l × min



*** Разница достоверна при $P \leq 0,001$ по сравнению со II группой / *** The difference is significant at $P \leq 0.001$ compared to group II

Рис. 3. Концентрация малонового диальдегида в сыворотке крови бычков черно-пестрой породы различных сезонов рождения в возрасте 45 суток, нм/мл /

Fig. 3. Concentration of malondialdehyde in the blood serum of Black-and-White bulls of different birth seasons at the age of 45 days, nm/ml

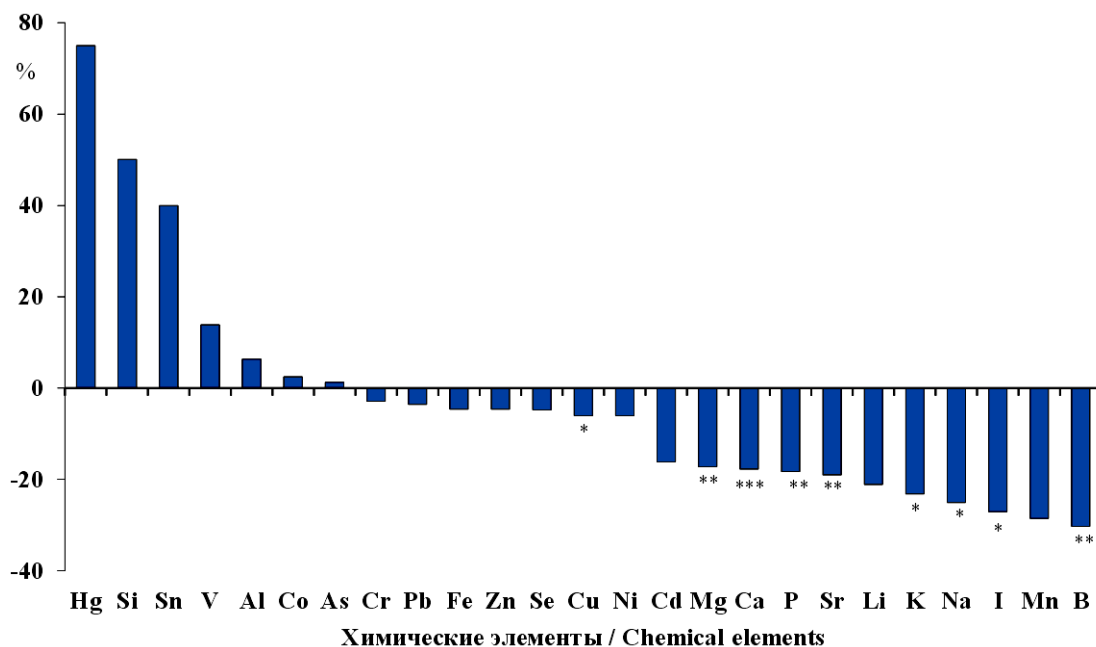
Так, уровень каталазы у бычков III группы был ниже на 4,5 и 17,6 % ($P \leq 0,05$), супероксиддисмутазы – на 2,4 и 11,0 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с показателями I и II групп. Оценка концентрации малонового диальдегида показала, что в III группе она была выше на 44,8 и 115,4 % ($P \leq 0,001$) по сравнению со сверстниками I и II групп соответственно.

С целью оценки влияния температурного режима содержания на элементный статус бычков был осуществлен анализ волос, отобранных с верхней части холки. Средние значения концентрации химических элементов в волосе бычков весеннего сезона рождения составили:

K – $2597,9 \pm 254,81$; Ca – $2638,30 \pm 88,43$;
Mg – $671,90 \pm 46,41$; Na – $2763,20 \pm 290,86$;

P – $269,70 \pm 12,74$; Fe – $188,84 \pm 28,11$;
Zn – $107,10 \pm 2,60$; Co – $0,205 \pm 0,027$;
Cr – $0,381 \pm 0,047$; Cu – $5,633 \pm 0,210$;
I – $1,44 \pm 0,13$; Mn – $51,00 \pm 6,58$;
Se – $0,253 \pm 0,020$; B – $8,38 \pm 0,75$;
Si – $22,90 \pm 14,11$; Li – $0,384 \pm 0,070$;
Ni – $0,580 \pm 0,054$; V – $0,540 \pm 0,074$;
As – $0,156 \pm 0,021$; Al – $38,10 \pm 7,52$;
Sr – $18,62 \pm 0,98$; Pb – $0,392 \pm 0,047$;
Sn – $0,015 \pm 0,001$; Cd – $0,031 \pm 0,005$;
Hg – $0,004 \pm 0,001$.

Ниже представлены отклонения концентрации химических элементов в волосе бычков черно-пестрой породы зимнего и летнего сезонов рождения относительно особей, рожденных в весенний период года (рис. 4, 5).



* Разница достоверна при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$ по сравнению со II группой /
* The difference is significant at $P \leq 0,05$; ** – at $P \leq 0,01$; *** – at $P \leq 0,001$ compared to group II

Рис. 4. Отклонение концентрации химических элементов в волосе бычков черно-пестрой породы зимнего сезона рождения относительно особей, рожденных в весенний период года в возрасте 45 суток, % / Fig. 4. Deviation of chemical elements concentrations in the hair of Black-and-White bulls of the winter birth season relative to individuals born in the spring period of the year at the age of 45 days, %

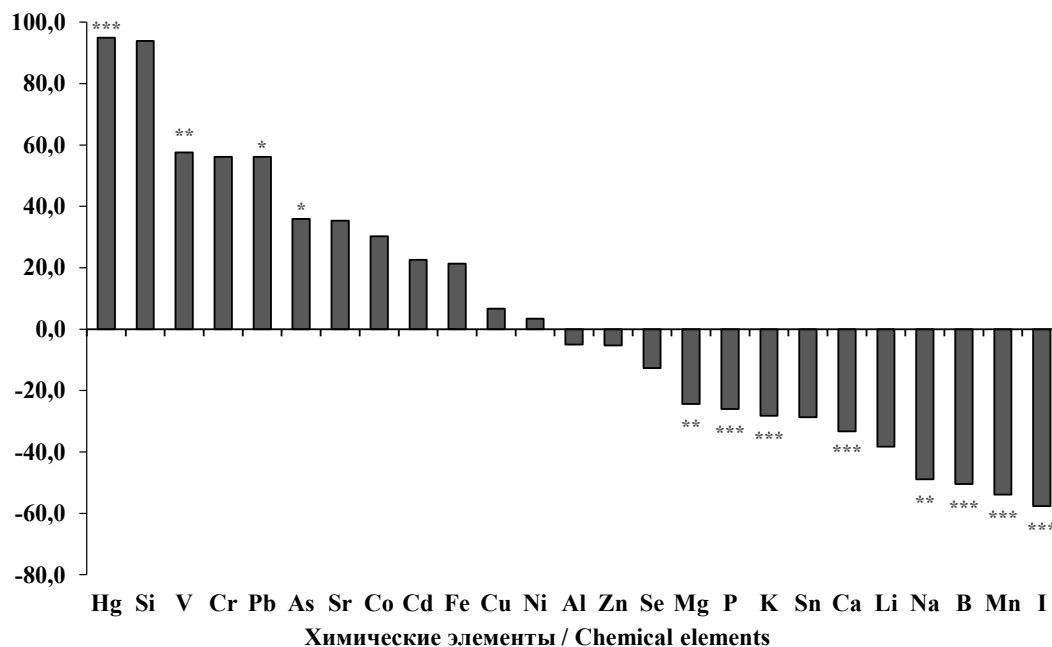
Высокие температуры окружающей среды в летний период, по сравнению с весенним, способствовали повышению концентраций в волосе Hg, V, Cr, Pb, As и снижению Mg, P, K, Ca, Sr, Na, B, Mn, I. У бычков зимнего сезона рождения были промежуточные показатели концентрации химических элементов по сравнению с бычками весеннего и летнего сезонов рождения. Также следует отметить, что температура окружающей среды оказывала существенное влияние на макро-

элементное звено – K, Ca, Mg, Na, P и микроэлементное – I, Mn, B, Sr, Hg.

Обсуждение полученных результатов. Потепление климата создает серьезные вызовы для сельскохозяйственной отрасли, особенно в животноводстве. Когда температура окружающей среды становится слишком высокой, животные не могут эффективно отдавать избыток тепла, что приводит к состоянию теплового стресса [9]. Это состояние вызывает целый ряд негативных физиологических изменений:

повышение температуры тела; снижение аппетита; ухудшение усвоения питательных веществ корма. В результате животные не только плохо растут и дают меньше продукции, но и становятся более восприимчивыми к различным

заболеваниям, что требует дополнительных затрат на ветеринарное обслуживание и может привести к экономическим потерям для хозяйства [10].



* Разница достоверна при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$ по сравнению со II группой / * The difference is significant at $P \leq 0.05$; ** – at $P \leq 0.01$; *** – at $P \leq 0.001$ compared to group II

Рис. 5. Отклонение концентрации химических элементов в волосе бычков черно-пестрой породы летнего сезона рождения относительно особей, рожденных в весенний период года в возрасте 45 суток, % / Fig. 5. Deviation of chemical elements concentrations in the hair of Black-and-White bulls born in the summer season relative to individuals born in the spring period of the year at the age of 45 days, %

Настоящее исследование проводили в условиях резко континентального климата Оренбургской области. Погодные условия в данном регионе отличаются крайне высокой изменчивостью. В частности, зимой температура часто опускается ниже -35°C , а летом может подниматься выше $+40^{\circ}\text{C}$. Такие экстремальные перепады температур существенно влияют на потребление кормов животными и поступление минеральных веществ. Однако до настоящего времени не было проведено комплексных исследований, которые бы определяли, как именно должны различаться нормы потребления минералов у крупного рогатого скота в зависимости от сезона года и погодных условий. Именно этот пробел в научных знаниях и стал причиной проведения нашего эксперимента.

Уникальные климатические условия региона представляют широкие возможности для исследования влияния температуры на

организм крупного рогатого скота, поскольку позволяют наблюдать весь спектр её воздействия в естественных условиях содержания.

Наши исследования показали, что жара существенно замедляет весовой рост молодых бычков. Так, животные летнего периода развития показывали более низкие темпы роста по сравнению с весенними сверстниками на всех этапах наблюдения. Это происходит потому, что в жару организм сам ограничивает потребление корма, чтобы снизить тепловыделение от пищеварения – такой механизм терморегуляции ранее был зафиксирован у молодняка мясных пород, разводимых в жарком климате Австралии [11]. Для того чтобы компенсировать снижение аппетита в жаркую погоду и обеспечить достаточное поступление питательных и минеральных веществ, специалисты рекомендуют особый режим кормления. Сущность подобных рекомендаций сводится к тому, чтобы давать корм порционно, преимущественно в ночное время [12].

Исследование защитных механизмов выявило угнетение активности антиоксидантной системы у животных в летний период. Это подтверждается значительным снижением активности ключевых ферментов системы антиоксидантной защиты (каталазы и супероксиддисмутазы), что фиксируется на фоне повышения концентрации малонового диальдегида. Длительное воздействие повышенных температур окружающей среды приводит к истощению защитных резервов организма крупного рогатого скота и нарушению баланса между прооксидантными и антиоксидантными процессами. В конечном счете это приводит к развитию окислительного стресса, характеризующегося накоплением активных форм кислорода, которые повреждают клеточные структуры [13]. Аналогичные изменения мы зафиксировали в ходе нашего эксперимента. Этот механизм отчасти объясняет, причину, по которой животные в жару становятся более уязвимыми к различным негативным воздействиям [14].

В ходе исследования проведен анализ, как сезонность влияет на содержание различных элементов в организме бычков. Полученные данные показали, что жара вызывает существенные изменения в элементном составе. Так, было отмечено значительное снижение уровня жизненно важных элементов (магний, фосфор, калий, кальций, стронций, натрий, бор, марганец, йод), при этом возрастала концентрация токсичных веществ (ртуть, ванадий, хром, свинец, мышьяк). Указанные изменения обусловлены в первую очередь сокращением потребления корма в условиях жары, а также активацией адаптационных механизмов (тахикардия, гипергидроз), требующих повышенного расхода минеральных веществ. Рост концентрации токсичных элементов, в свою очередь, может

быть связан с конкурентным замещением одних эссенциальных элементов другими в борьбе за белки-транспортёры, который выражается в проявлении ранее описанного эффекта антагонизма. Так, например, свинец связывается с кальбиндином – белком, ответственным за транспорт кальция, что в свою очередь нарушает метаболизм Ca [15].

Заключение. Проведенное исследование выявило детерминирующую роль сезонного температурного фактора в формировании продуктивных и физиологических характеристик бычков в ранний постнатальный период. Установлено, что оптимальный температурный режим весеннего сезона обеспечивает максимальную реализацию генетического потенциала бычков, что выражается в достоверном превосходстве по живой массе и среднесуточным приростам. Физиологической основой повышенной продуктивности выступает синхронизация метаболических процессов, характеризующаяся активацией белкового, углеводного и липидного обменов, а также поддержанием редокс-гомеостаза. Напротив, хроническая гипертермия летнего сезона инициирует развитие оксидативного стресса, проявляющегося в угнетении активности ключевых ферментов системы антиоксидантной защиты и интенсификации процессов перекисного окисления липидов. Существенная модификация элементного профиля, выражающаяся в дефиците эссенциальных макро- и микроэлементов при параллельной аккумуляции токсичных металлов, свидетельствует о глубоких нарушениях минерального метаболизма. Полученные данные обосновывают необходимость разработки дифференцированных технологических решений в зависимости от сезона отела, направленных на коррекцию метаболического и элементного статусов молодняка крупного рогатого скота.

References

1. Morera P., Basiricò L., Hosoda K., Bernabucci U. Chronic Heat Stress Up-Regulates Leptin and Adiponectin Secretion and Expression and Improves Leptin, Adiponectin and Insulin Sensitivity in Mice. *Journal of Molecular Endocrinology*. 2012;48(2):129–138. DOI: <https://doi.org/10.1530/JME-11-0054>
2. Farooq M. S., Uzair M., Raza A., Habib M., Xu Y., Yousuf M. et al. Uncovering the Research Gaps to Alleviate the Negative Impacts of Climate Change on Food Security: A Review. *Frontiers of Plant Science*. 2022;13:927535. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.927535>
3. Zheng Y., Xie T., Li S., Wang W., Wang Y., Cao Z., Yang H. Effects of Selenium as a Dietary Source on Performance, Inflammation, Cell Damage, and Reproduction of Livestock Induced by Heat Stress: A Review. *Frontiers of Immunology*. 2022;12:820853. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.820853>
4. Kim S. H., Ramos S. C., Valencia R. A., Cho Y. I., Lee S. S. Heat Stress: Effects on Rumen Microbes and Host Physiology, and Strategies to Alleviate the Negative Impacts on Lactating Dairy Cows. *Frontiers of Microbiology*. 2022;13:804562. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.804562>

5. Nardone A., Ronchi B., Lacetera N., Ranieri M. S., Bernabucci U. Effects of Climate Changes on Animal Production and Sustainability of Livestock Systems. *Livestock Science*. 2010;130:57–69.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>

6. Henry B. K., Charmley E., Eckard R., Gaughan J., Hegarty R. Livestock production in a changing climate: adaptation and mitigation research in Australia. *Crop and Pasture Science*. 2012;63(3):191–202.

DOI: <https://doi.org/10.1071/CP11169>

7. Фролов А. Н., Завьялов О. А. Влияние сезона года на элементный статус и продуктивные качества бычков. *Животноводство и кормопроизводство*. 2024;107(4):31–40.

DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-31> EDN: LPELKI

Frolov A. N., Zavyalov O. A. The influence of season on the elemental status and productive qualities of bulls. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo = Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):31–40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-31>

8. Lacetera N. Impact of Climate Change on Animal Health and Welfare. *Animal Frontiers*. 2018;9(1):26–31. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32002236/>

9. Nawaz A. H., Amoah K., Leng Q. Y., Zheng J. H., Zhang W. L., Zhang L. Poultry Response to Heat Stress: Its Physiological, Metabolic, and Genetic Implications on Meat Production and Quality Including Strategies to Improve Broiler Production in a Warming World. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021;23(8):699081. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.699081>

10. Wasti S., Sah N., Singh A. K., Lee C. N., Jha R., Mishra B. Dietary supplementation of dried plum: a novel strategy to mitigate heat stress in broiler chickens. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021;12:58. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00571-5>

11. Beatty D. T., Barnes A., Taylor E., Maloney S. K. Do changes in feed intake or ambient temperature cause changes in cattle rumen temperature relative to core temperature? *Journal of Thermal Biology*. 2008;33(1):12–19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2007.09.002>

12. Pandey N., Kataria N., Kataria A. K., Joshi A. J. A., Sankhala L. N., Asopa Sh. A. Sh., Pachaury R. P. R. Extreme Ambiances Vis-À-Vis Endogenous Antioxidants of Marwari Goat From Arid Tracts in India. *ELBA Bioflux*. 2012;4:29–33.

13. Leandro M. A., Stock J., Bennewitz J., Chagunda M. G. G. Is heat stress a growing problem for dairy cattle husbandry in the temperate regions? A case study of Baden-Württemberg in Germany. *Journal of Animal Science*. 2024;102:skae287. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skae287>

14. Wang J., Li J., Wang F., Xiao J., Wang Y., Yang H. et al. Heat stress on calves and heifers: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2020;10(11):79. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00485-8>

15. Tao S., Rivas R. M. O., Marins T. N., Chen Y. C., Gao J., Bernard J. K. Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows. *Theriogenology*. 2020;150:437–444. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.02.048>

Сведения об авторах

✉ **Завьялов Олег Александрович**, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, Оренбургская обл., Российская Федерация, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>, e-mail: oleg-zavyalov83@mail.ru

Фролов Алексей Николаевич, доктор биол. наук, зав. отделом технологии мясного скотоводства и производства говядины, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, Оренбургская обл., Российская Федерация, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>

Information about the authors

✉ **Oleg A. Zavyalov**, DSc in Biological Science, leading researcher, the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 9 Yanvarya St., 29, Orenburg, Orenburg region, Russian Federation, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>, e-mail: oleg-zavyalov83@mail.ru

Alexey N. Frolov, DSc in Biological Science, Head of the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 9 Yanvarya St., 29, Orenburg, Orenburg region, Russian Federation, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Идентификация генов-кандидатов, связанных с экстерьером крупного рогатого скота голштинизированной черно-пестрой породы на основе GWAS-анализа

© 2025. И. С. Недашковский¹✉, А. Ф. Контэ¹, А. А. Сермягин²,
Д. Н. Кольцов³, В. В. Волкова¹

¹ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация

²Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Российская Федерация

Проведено исследование, направленное на поиск полногеномных ассоциаций с фенотипическими признаками экстерьера у голштинизированной черно-пестрой породы крупного рогатого скота (356 быков для 42247 дочерей). В работе использована методика Союза «Мосплем», которая включает 4 признака по системе «А» и 17 признаков по системе «Б». Генотипирование проводили на основе биочипа Illumina BovineSNP50 (54609 SNPs). Поиск генов-кандидатов, локализованных в области идентифицированных SNP осуществляли в базе данных NCBI по сборке генома *Bos taurus_UMD_3.1.1*. Для поиска QTL и регионов под давлением отбора использовали базу данных CattleQTLdb. По системе «А» в области данных, достоверно значимых SNP идентифицировано 26 генов-кандидатов, ассоциированных с изучаемыми признаками экстерьера. По системе «Б» выявлено 22 SNP, ассоциированных с признаками экстерьера. На хромосомах 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 28 локализованы гены: *ADCY5, FRYL, GOLGB1, ILDR1, ITGB5, MAPK10, SEC22A, STXBP5L, ZP2, ALDH1A2, ERGIC1, KCND2, PAPP2, PPFIA2, PRDM16, RABGAP1L, SECISBP2, SMYD3, ANO3, DPP10, HPSE2, MAML3, PRKCE, SLCO3A1, ANTXR1, KCTD2, NCOA1, NRG3, TIGAR, VAV3, XYLT1, PRR5L, BFSP1, CDH4, HECW1, MAPKAP1, SPOCK1, SRP68, SYNJ2, DAB1, EPS8, PCDH15, PTPRR, TRPM7, TTYH2, UBR1, USP32, ANGPT1, ITCH, OSBPL10, RAI1, RGS22, SLA2, ZFH4, BCL9, GFRA2, SLC25A12, CNNM2, IGFBP7, KALRN, MACROD2, PCSK5, UCK2, CNKSR3, CUL3, CYP27A1, RHPN1, TSNARE1, EBF1, PTCH1*. Выявленные гены сопряжены с локусами количественных признаков, ассоциированных с различными показателями, которые согласуются с ранее проведенными исследованиями других авторов. Достоверность значимых ассоциаций по точечным мутациям находилась в пределах $p < 1,80E-08-0,0001474$. Такой инструмент генетического исследования как GWAS-анализ позволяет эффективнее планировать получение особей, которые бы отвечали экономическим потребностям молочного скотоводства.

Ключевые слова: признаки экстерьера, SNP, генотипирование, коровы, полногеномные ассоциации

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (регистрационный номер ЕГИСУ темы НИР ГЗ 124020200029-4, тема № FGGN-2024-0013).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Недашковский И. С., Контэ А. Ф., Сермягин А. А., Кольцов Д. Н., Волкова В. В. Идентификация генов-кандидатов, связанных с экстерьером крупного рогатого скота голштинизированной черно-пестрой породы на основе GWAS-анализа. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025;26(6):1375–1401.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1375-1401>

Поступила: 15.04.2025

Принята к публикации: 15.12.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Identification of candidate genes associated with conformation in Holsteinized Black and White cattle based on GWAS analysis

© 2025. Igor S. Nedashkovsky¹✉, Aleksandr F. Konte¹, Aleksandr A. Sermyagin², Dmitry N. Koltsov³, Valeria V. Volkova¹

¹Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region, Russian Federation,

²Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Saint Petersburg, Pushkin, Russian Federation

³Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

There was conducted a study aimed at identifying genome-wide associations with phenotypic exterior traits in Holsteinized Black-and-White cattle ($n=356$ heads for 42,247 daughters). During the research there has been used the methodology of the Mosplem Union which includes 4 traits according to system A and 17 traits according to system B. Genotyping was performed on the basis of the Illumina BovineSNP50 (54609 SNPs). The search for candidate genes localized in the region of identified SNPs was performed in the NCBI database for the *Bos taurus*_UMD_3.1.1 genome assembly. The CattleQTLdb database was used to search for QTL and areas under selection pressure. According to system "A" in the data region of significantly significant SNPs, 26 candidate genes associated with the studied exterior traits were identified. According to system "B", 22 SNPs associated with exterior traits were identified. The following genes are localized on chromosomes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 28: *ADCY5*, *FRYL*, *GOLGB1*, *ILDRI*, *ITGB5*, *MAPK10*, *SEC22A*, *STXBP5L*, *ZP2*, *ALDH1A2*, *ERGIC1*, *KCND2*, *PAPPA2*, *PPFIA2*, *PRDM16*, *RABGAP1L*, *SECISBP2*, *SMYD3*, *ANO3*, *DPP10*, *HPSE2*, *MAML3*, *PRKCE*, *SLCO3A1*, *ANTXR1*, *KCTD2*, *NCOA1*, *NRG3*, *TIGAR*, *VAV3*, *XYLT1*, *PRR5L*, *BFSP1*, *CDH4*, *HECW1*, *MAPKAP1*, *SPOCK1*, *SRP68*, *SYNJ2*, *DAB1*, *EPS8*, *PCDH15*, *PTPRR*, *TRPM7*, *TTYH2*, *UBR1*, *USP32*, *ANGPT1*, *ITCH*, *OSBPL10*, *RAI1*, *RGS22*, *SLA2*, *ZFHX4*, *BCL9*, *GFRA2*, *SLC25A12*, *CNNM2*, *IGFBP7*, *KALRN*, *MACROD2*, *PCSK5*, *UCK2*, *CNKSR3*, *CUL3*, *CYP27A1*, *RHPN1*, *TSNARE1*, *EBF1*, *PTCH1*. The identified genes are associated with quantitative trait loci associated with various indicators that are consistent with those previously annotated by other researchers. The reliability of significant associations for point mutations was within the range of $p < 1.80E-08 - 0.0001474$. Such a tool of genetic research as GWAS analysis allows more efficient planning of obtaining individuals that would meet the economic needs of dairy cattle breeding.

Keywords: exterior traits, SNP, genotyping, cows, genome-wide association studies

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 Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (registration number of the EGISU research topic 124020200029-4, theme no. FGGN-2024-0013).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

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

For citation: Nedashkovsky I. S., Konte A. F., Sermyagin A. A., Koltsov D. N., Volkova V. V. Identification of candidate genes associated with conformation in Holsteinized Black and White cattle based on GWAS analysis. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1375–1401. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1375-1401>

Received: 15.04.2025

Accepted for publication: 15.12.2025

Published online: 26.12.2025

Селекция животных с использованием данных генотипирования в странах с развитым животноводством является востребованным направлением на протяжении последних 10–15 лет [1, 2, 3]. Эта технология позволяет уже в раннем возрасте оценивать генетический потенциал животных по SNP-маркерам, что значительно ускоряет селекционный процесс и повышает точность отбора по признакам продуктивности, плодовитости и устойчивости к заболеваниям [4, 5, 6]. Несмотря на это, исследования в направлении изучения ассоциаций генотипа животных с количественными признаками продолжают. Наиболее востре-

бованным методом изучения является поиск полногеномных ассоциаций по типу GWAS (*Genome-Wide Association Studies*) [7]. В России работы в данном направлении начались относительно недавно. Отечественными исследователями проведены полногеномное генотипирование и GWAS-исследования коров чёрно-пёстрой породы зоны Урала. Так, изучен генетический профиль животных чёрно-пёстрой породы, идентифицированы однонуклеотидные полиморфизмы (*Single Nucleotide Polymorphism*, SNP), значимо ассоциированные с признаками фертильности коров, определены генетические варианты и сочетания по ДНК-маркерам,

обуславливающие улучшение воспроизводительных качеств коров. По показателям воспроизводства (кратность осеменения, продолжительность сервис-периода) установлено превосходство коров по гену *BLG*, генотип *BLG_GG*; гену *BPI-1*, генотип *BPI-1_GG*; гену *UBQE211*, генотип *UBQE211_AA*; гену *UBQE214*, генотип *UBQE214_AA*; гену *BPI-2*, генотип *BPI-2_AA* [8].

На примере голштинской породы крупного рогатого скота (КРС) наиболее изученными являются ассоциации между геномным скринингом и молочной продуктивностью животных. На основе GWAS анализа, проведенного на черно-пестрой голштинизированной породе КРС по 110448 SNP, обнаружили локусы количественных признаков на аутосомах *BTA1*, *BTA2*, *BTA5*, *BTA7*, *BTA8*, *BTA10*, *BTA11*, *BTA12*, *BTA14*, *BTA16*, *BTA20*, *BTA21* и *BTA26*. Для величины удоя детектирован регион на *BTA14* (1,44–1,59 Mb) с генами *ZNF16*, *ARHGAP39* и *ZNF7*, сопряженными с повышенным выходом молочного жира. Для числа осеменений выявлен ряд SNP, локализованных в генах (*ARHGAP31*) либо в непосредственной близости от них (*SERPINA5*) и связанных с интенсивностью развития до половозрелого состояния, а также овариальной функцией у животных. Достоверность (*p-values*) полногеномных ассоциаций с прямыми фенотипами коров варьировала от $2,31 \times 10^{-5}$ до $1,08 \times 10^{-7}$ [9]. Кроме того, проводили ассоциации методом GWAS между генотипом животных и такими признаками, как живая масса и фертильность [7, 10]. Детектированы участки на хромосомах 2, 5, 18, 25, 29, связанные с оплодотворяющей способностью быков-производителей, а также локусы на хромосомах 1, 3, 5, 9, 10, 12, 14, 18, 22, 24, 25, ассоциированные с количественными показателями спермопродукции быков-производителей [9].

Весьма важное место в селекции голштинского скота занимает линейная оценка экстерьера. Вместе с тем, в литературе практически не обнаружено результатов полногеномных ассоциаций методом GWAS и линейных признаков экстерьера. В частности, полногеномное исследование ассоциаций SNP с высотой в холке в популяциях локальных и трансграничных пород крупного рогатого скота в России, проведенное коллективом авторов, демонстрирует, что в общей сложности выявили

четыре SNP, из которых три были локализованы на 4-й хромосоме (ARS-BFGL-NGS-116590, *Harmap53144-ss46525999*, *BovineHD0400021479*), один – на 14-й хромосоме (*BovineHD1400007259*). Альтернативные аллели в обнаруженных SNP статистически значимо различаются по частоте встречаемости в разных группах пород животных, а также имеют статистически значимые положительные либо отрицательные корреляции с высотой в холке [11].

Резюмируя вышеизложенное, стоит отметить, что полногеномное исследование ассоциаций SNP с признаками экстерьера, за исключением высоты в холке, которую можно косвенно отнести в перечень признаков экстерьера, ранее в России не проводилось, в связи с чем наша работа имеет научную и практическую значимость, а также новизну. Современные методы анализа, такие как GWAS, несомненно, являются новым научным витком в селекционной работе, поскольку используют данные по геному животных, полученные на базе технологий 21 века, что обязательно принесет свой вклад в отрасль животноводства как в научном плане, так и в реальных условиях санкционной политики сегодняшнего дня.

Цель исследования – идентификация генов-кандидатов, достоверно связанных с экстерьером крупного рогатого скота голштинизированной черно-пестрой породы на основе GWAS-анализа с последующей их аннотацией и взаимосвязью с локусами количественных признаков для молочной продуктивности, фертильности и экстерьера.

Научная новизна – впервые проведен полногеномный анализ ассоциаций (GWAS) признаков экстерьера крупного рогатого скота голштинизированной черно-пестрой породы. В ходе исследования идентифицировано 48 генов-кандидатов (26 по системе оценки «А» и 22 по системе «Б»), достоверно ассоциированных с различными признаками экстерьера животных. Особое значение имеет то, что выявленные генетические маркеры локализованы на 28 хромосомах, что позволяет более точно планировать селекционный процесс для выведения животных с желательными экстерьерными признаками. Полученные результаты расширяют понимание генетической архитектуры экстерьерных признаков и создают основу для совершенствования методов геномной селекции в молочном скотоводстве.

Материал и методы. Исследования проводили на быках-производителях и коровах черно-пестрой и голштинской пород с использованием баз данных ОАО «Головной центр по воспроизводству сельскохозяйственных животных» (ОАО «ГЦВ») и ОАО «Московское» по племенной работе, а также ряда племенных хозяйств Московской области. Общее количество генотипированных быков-производителей составило 356 голов для 42247 дочерей, которые не проходили процедуру генотипирования.

В формировании сводной базы данных по дочерям быков использовали систему получения и обработки информации по учтенным суточным событиям: СЕЛЭКС-Молочный скот → ИАС «Регион» (ОАО «РЦ «Плинор»), а также профили генотипированных быков на основе биочипа *Illumina BovineSNP50* (54609 SNPs). Генотипирование проводили в лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста). Результаты по фенотипу и генотипу использованы для создания data-файла для проведения GWAS-анализа.

Контроль качества SNP (редактирование генетической базы) и поиск значимых полиморфизмов у крупного рогатого скота проводили посредством GWAS с помощью программного обеспечения *Plink v.1.90* в среде программирования *RStudio*. Поиск генов-кандидатов, локализованных в области идентифицированных SNP, осуществляли в базе данных *NCBI* по сборке генома *Bos taurus UMD_3.1.1*. Для поиска локусов количественных признаков (*Quantitative Trait Loci*, QTL) и регионов под давлением отбора на хромосомах, имеющих сопряженность с функциональными характеристиками животных, использовали базу данных *CattleQTLdb*.

Для более полного представления о характере исследуемой выборки отмечаем генеалогические линии искомым производителей голштинской породы: Монтвик Чифтейн 95679, Уэс Идеал 933122, Рефлекшн Соверинг 198998, Висконсин Адмирал Бэк Лэд 697789 (Пабст Говернер 882933), Силинг Трайджун Рокит 252803. Распределение по странам происхождения быков следующее: 38 % – Германия,

34 % – Россия, 18 % – Дания и около 10 % – США, Канада и Нидерланды. Базу данных сформировали по результатам архивной и текущей информации по 81 хозяйству Московской области. Годы рождения быков-производителей находятся в диапазоне от 1994 до 2018 г.

В нашей работе использована методика Союза «Мосплем» [12]. Оценка типа телосложения (ОТТ) по системе «А» включает 4 признака: молочный тип; конечности; туловище; вымя. ОТТ по системе «Б» предусматривает анализ по 17 признакам: высота в крестце; глубина туловища; ширина зада; положение зада; крепость телосложения; угол задних ног – вид сбоку; скакательный сустав – вид сзади; высота пятки; постановка задних ног – вид сзади; прикрепление передних долей вымени; центральная связка; высота задних долей вымени; глубина вымени; молочный тип; длина сосков; расположение передних сосков и длина передних долей вымени.

При проведении множественных сравнений пользовались поправкой Бонферрони и методом Холма (поправка Холма – Бонферрони).

Результаты и их обсуждение. В области данных, достоверно значимых SNP идентифицировано 26 генов-кандидатов, ассоциированных с изучаемыми признаками экстерьера (табл. 1). Результаты исследования могут быть использованы в дальнейшем для геномной селекции, направленной на улучшение экстерьерного профиля животных.

Для выявления генетических критериев признаков экстерьера, на основании проведенного GWAS-анализа, результаты которого отражены на рисунке 1, выявлено 7 SNP, ассоциированных с молочным типом по системе «А», 7 SNP – с туловищем, 9 SNP – с конечностями, 11 SNP – с выменем. При этом установлены SNP общие для нескольких признаков. Все значимые однонуклеотидные мутации, ассоциированные с признаками экстерьера при их детекции находились внутри обозначенных генов. Выявленные SNP локализованы на 14 хромосомах: BTA1 (2 SNP); BTA2 (1 SNP); BTA3 (2 SNP); BTA5 (2 SNP); BTA6 (1 SNP); BTA9 (1 SNP); BTA 10 (4 SNP); BTA12 (4 SNP); BTA15 (1 SNP); BTA16 (1 SNP); BTA17 (4 SNP); BTA22 (2 SNP); BTA25 (2 SNP); BTA27 (1 SNP).

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: ЗООТЕХНИЯ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: ZOOTECHNY

Таблица 1 – Значимые однонуклеотидные мутации, ассоциированные с признаками экстерьера – система «А» /
 Table 1 – Significant single nucleotide mutations associated with exterior traits – system "A"

Однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) / Single nucleotide polymorphism (SNP)	Хромосома / Chromosome	Позиция / Position	P-value	Поправка Бонферрони / Bonferroni correction	Метод Холма / Holm method	Ген / Gene
Система «А» / System «A»						
Молочный тип / Angularity						
ARS-BFGL-NGS-117515	27	14147458	6.99E-06	0.2374	0.2374	CCDC111
ARS-BFGL-NGS-42990	10	65970755	1.24E-05	0.4215	0.4215	DDHD1
ARS-BFGL-NGS-13810	3	59889122	9.04E-05	1	1	DNASE2B
UA-IFASA-7336	1	60862725	9.67E-05	1	1	GAP43
BTB-01065229	10	68324855	8.48E-05	1	1	KTNI
ARS-BFGL-NGS-32207	25	41646364	1.68E-05	0.571	0.5709	MAD1L1
Нармап53772-ss46526870	10	37055538	0.000147	1	1	RPAP1
Туловище / Body						
ARS-BFGL-NGS-117515	27	14147458	8.55E-05	1	1	CCDC111
ARS-BFGL-NGS-42990	10	65970755	2.48E-05	0.8432	0.843	DDHD1
BTB-01065229	10	68324855	0.000145	1	1	KTNI
ARS-BFGL-NGS-32207	25	41646364	4.63E-06	0.1573	0.1573	MAD1L1
ARS-BFGL-NGS-33887	25	41703966	0.000139	1	1	MAD1L1
BTB-01497979	5	86881651	0.000123	1	1	SOX5
Конечности / Legs						
Нармап39586-BTA-78225	6	3383011	0.00015	1	1	BBS7
ARS-BFGL-NGS-21808	22	35771697	5.13E-05	1	1	CNKSR3
BTB-00782669	17	32850115	5.93E-05	1	1	FAT4
Нармап29086-BTA-40855	17	35229850	6.96E-08	0.002365	0.002365	FGF2
ARS-BFGL-NGS-34580	17	35174759	2.94E-05	0.9976	0.9974	NUDT6
ARS-BFGL-NGS-74380	16	77170719	0.000106	1	1	PLXNA2
ARS-BFGL-NGS-43302	22	37402411	5.99E-05	1	1	PRICKLE2
Нармап49910-BTA-20754	17	36571721	3.67E-05	1	1	TRPC3
BTA-121216-no-rs	2	26529985	2.13E-05	0.7226	0.7224	UBR3
Вымя / Udder						
ARS-BFGL-NGS-36145	12	70119984	1.13E-05	0.3827	0.3827	ABCC4
Нармап43491-BTA-122155	5	82878525	0.00013	1	1	ARNTL2
ARS-BFGL-NGS-13821	1	118127187	0.000141	1	1	CLRN1
Нармап29086-BTA-40855	17	35229850	9.95E-06	0.3381	0.338	FGF2
ARS-BFGL-NGS-24145	9	12860193	4.01E-06	0.1361	0.1361	KCNQ5
ARS-BFGL-NGS-91142	3	93523689	0.000101	1	1	LRP8
ARS-BFGL-NGS-12480	12	81642369	1.49E-05	0.5049	0.5048	NALCN
ARS-BFGL-NGS-101151	15	45842102	0.000107	1	1	OLFML1
ARS-BFGL-NGS-22985	12	81048745	8.74E-05	1	1	PCCA
ARS-BFGL-NGS-5118	12	81084869	9.42E-05	1	1	PCCA
ARS-BFGL-NGS-112899	10	42862459	2.40E-05	0.8153	0.8151	SDCCAG1

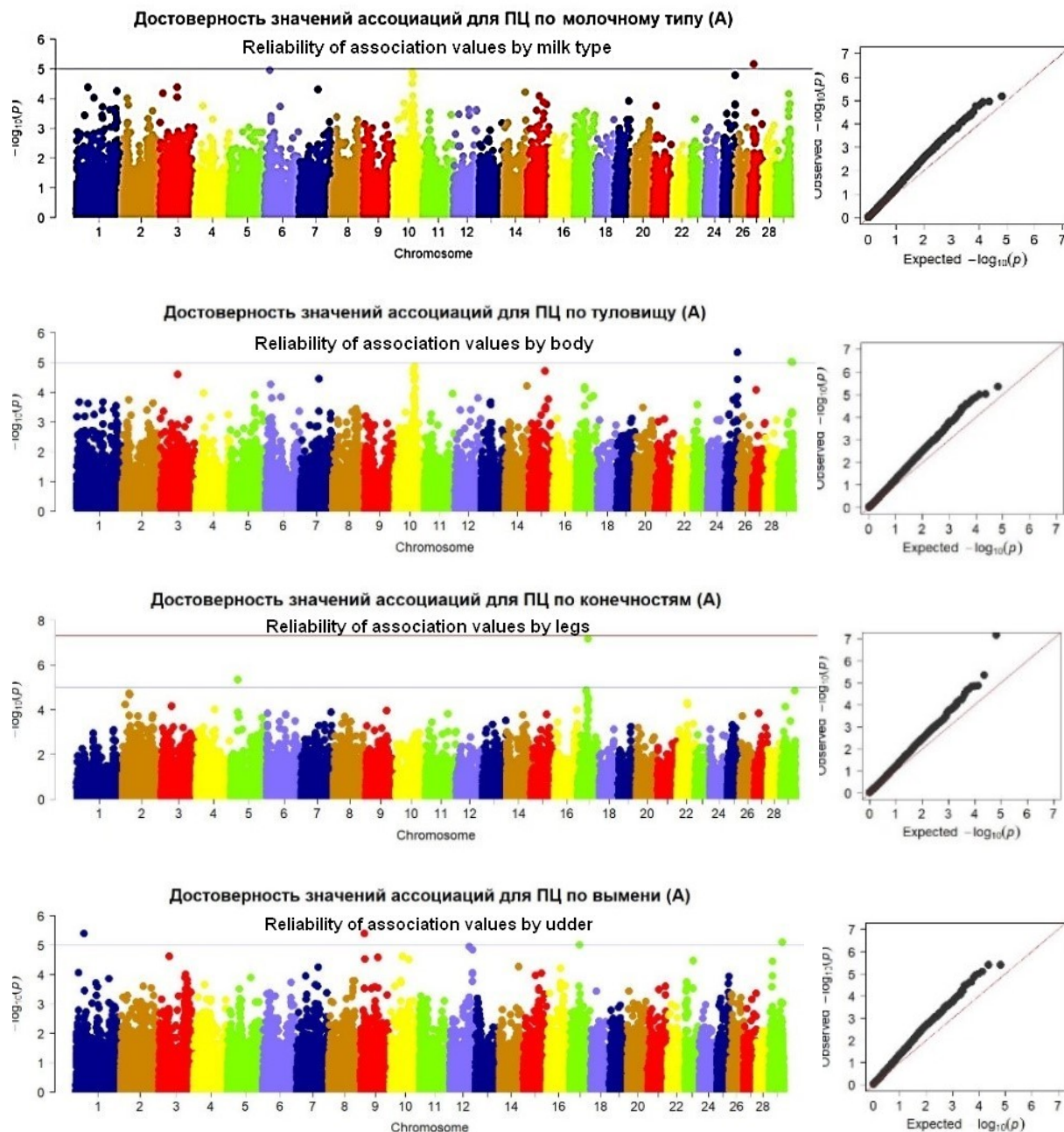


Рис. 1. Генетическая архитектура признаков экстерьера (система «А»): молочный тип, туловище, конечности, вымя. Полногеномные манхеттен плоты (слева), графики вероятностей (квантиль-квантиль) (справа) /
Fig. 1. Genetic architecture of exterior traits (system «A»): angularity, body, legs, udder. Whole-genome Manhattan plots (left), probability graphs (quantile-quantile) (right)

На основании проведенного GWAS-анализа, результаты которого отражены на рисунке 2, выявлено 22 SNP, ассоциированных с центральной связкой, 26 SNP – с длиной передних долей вымени, 7 SNP – с длиной сосков, 13 SNP – с глубиной туловища, 11 SNP – с глубиной вымени, 5 SNP – с крепостью, 11 SNP – с молочным типом, 16 SNP – с положением зада, 27 SNP – с прикреплением передних долей вымени, 26 SNP – с постановкой задних ног – вид сзади, 18 SNP – с расположе-

нием сосков вымени, 6 SNP – с шириной зада, 16 SNP – со скакательным суставом – вид сзади, 12 SNP – с углом задних ног – вид сбоку, 2 SNP – с высотой в крестце, 7 SNP – с высотой пятки, 2 SNP – с высотой задних долей вымени. При этом, установлены SNP общие для нескольких признаков, все значимые однонуклеотидные мутации, ассоциированные с признаками экстерьера при их детекции, также, находились внутри обозначенных генов (табл. 2).

Таблица 2 – Значимые однонуклеотидные мутации, ассоциированные с признаками экстерьера – система «Б» /
 Table 2 – Significant single nucleotide mutations associated with exterior traits – system «B»

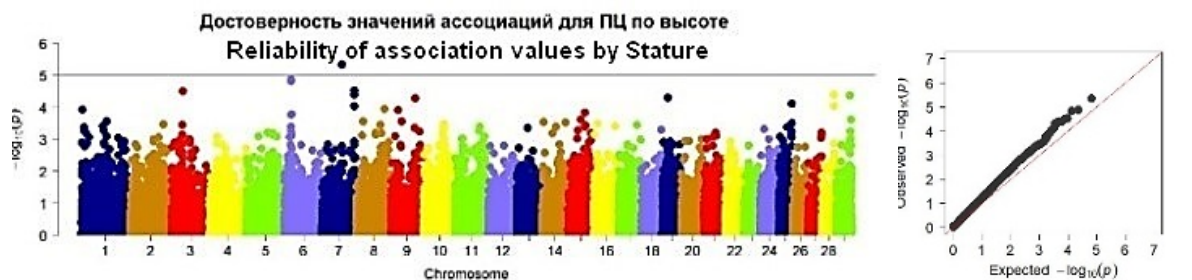
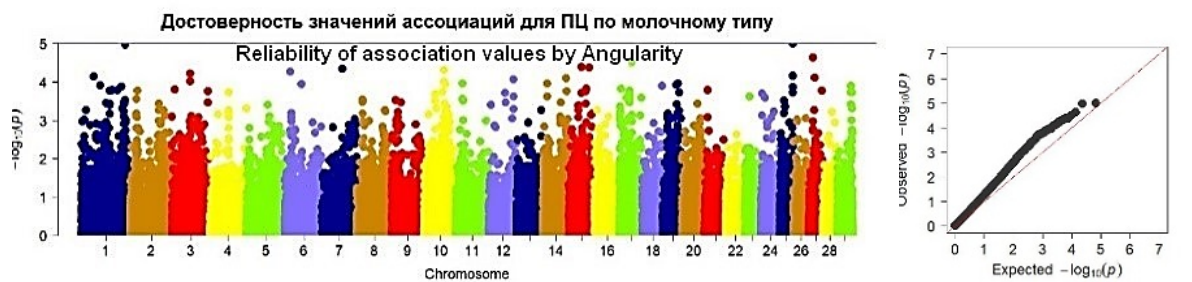
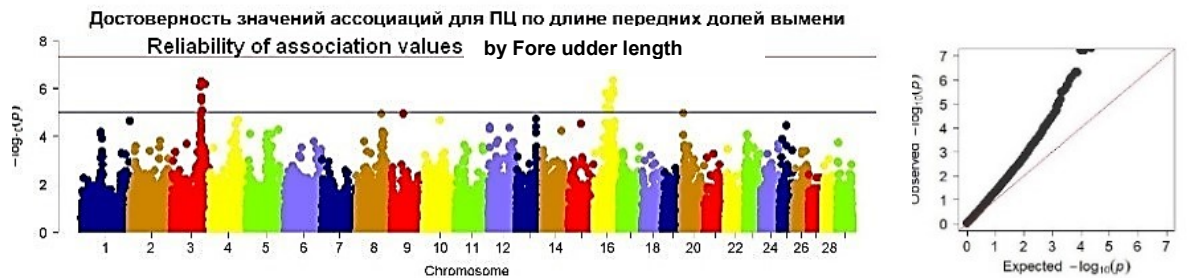
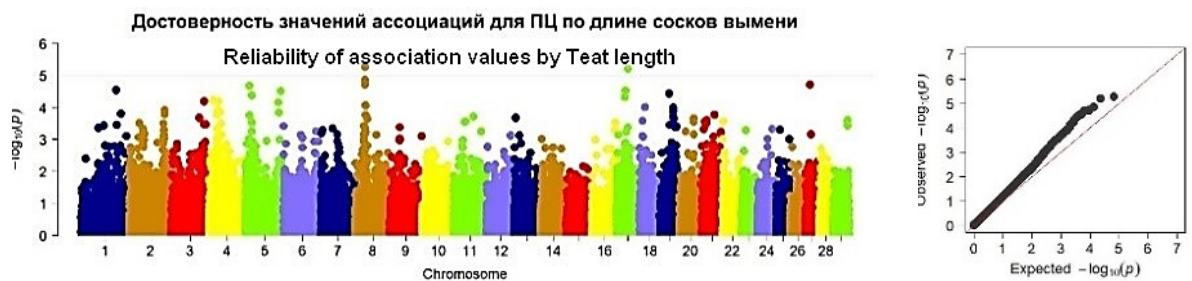
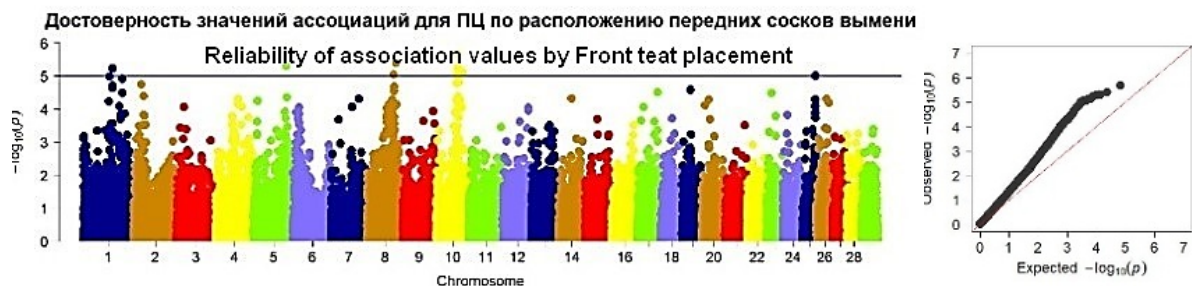
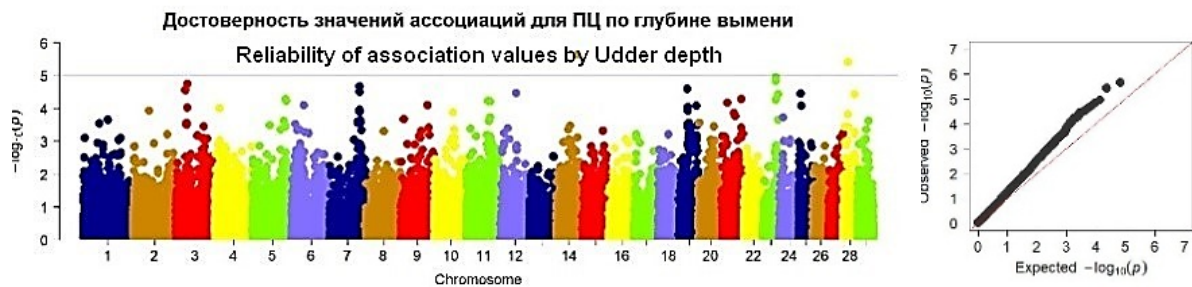
Однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) / Single nucleotide polymorphism (SNP)	Хромосома / Chromosome	Позиция / Position	P-value	Поправка Бонферрони / Bonferroni correction	Метод Холма / Holm method	Ген / Gene
1	2	3	4	5	6	7
Система «Б» / System «B»						
Центральная связка / Central ligament						
ARS-BFGL-NGS-7521	1	68268931	3.00E-05	1	1	<i>ADCY5</i>
UA-IFASA-5621	5	31246762	7.90E-07	0.02684	0.02684	<i>CCNT1</i>
BTB-00662642	16	78207433	7.54E-05	1	1	<i>CRB1</i>
BTB-00032200	1	67764428	8.99E-05	1	1	<i>DIRC2</i>
ARS-BFGL-NGS-30844	24	21283553	8.59E-05	1	1	<i>ELP2</i>
Нармаp40668-BTA-120410	6	68865490	0.000101	1	1	<i>FRYL</i>
ARS-BFGL-NGS-119907	11	103055283	0.000131	1	1	<i>GFIIB</i>
ARS-BFGL-NGS-36705	1	66797315	3.44E-06	0.1168	0.1168	<i>GOLGB1</i>
Нармаp51016-BTA-65142	29	26638151	2.59E-05	0.8811	0.8803	<i>HPS5</i>
BTB-00032648	1	67115284	0.000138	1	1	<i>ILDR1</i>
UA-IFASA-5307	1	69835860	0.000113	1	1	<i>ITGB5</i>
ARS-BFGL-NGS-24769	29	33568217	0.000125	1	1	<i>JAM3</i>
BTA-56261-no-rs	23	32155432	4.65E-05	1	1	<i>LRRC16A</i>
ARS-BFGL-NGS-44225	6	102805940	0.000104	1	1	<i>MAPK10</i>
ARS-BFGL-NGS-104458	29	20706709	5.46E-05	1	1	<i>MGC157332</i>
ARS-BFGL-NGS-118585	6	11816127	0.000136	1	1	<i>NDST4</i>
Нармаp23169-BTA-83176	9	28925858	0.000138	1	1	<i>PKIB</i>
BTA-34599-no-rs	1	68227488	3.86E-05	1	1	<i>SEC22A</i>
ARS-BFGL-NGS-32376	20	3876182	0.000127	1	1	<i>STK10</i>
BTB-00027638	1	66369026	1.95E-05	0.664	0.6634	<i>STXBP5L</i>
ARS-BFGL-NGS-111569	1	66398856	6.37E-05	1	1	<i>STXBP5L</i>
ARS-BFGL-NGS-109168	25	19237205	0.000135	1	1	<i>ZP2</i>
Длина передних долей вымени / Fore udder length						
BTB-01677645	10	52280724	2.15E-05	0.7314	0.7309	<i>ALDH1A2</i>
Нармаp23991-BTA-137000	23	8918459	9.39E-05	1	1	<i>ANKS1A</i>
Нармаp43491-BTA-122155	5	82878525	7.93E-05	1	1	<i>ARNTL2</i>
ARS-BFGL-NGS-43143	16	59661760	1.80E-08	0.000611	0.000611	<i>ASTN1</i>
BTB-01201135	16	64420184	5.03E-05	1	1	<i>CACNA1E</i>
INRA-420	3	96660603	2.60E-06	0.08821	0.08818	<i>ELAVL4</i>
ARS-BFGL-NGS-106445	20	4597488	1.12E-05	0.379	0.3788	<i>ERGIC1</i>
Нармаp57038-rs29015626	20	4567765	9.01E-05	1	1	<i>ERGIC1</i>
BTB-00147118	3	96238184	4.96E-07	0.01684	0.01684	<i>FAF1</i>
ARS-BFGL-NGS-103342	3	96100754	3.12E-06	0.106	0.1059	<i>FAF1</i>
Нармаp25832-BTA-141681	3	96323465	5.83E-05	1	1	<i>FAF1</i>
BTB-00201722	4	92201419	2.09E-05	0.7087	0.7082	<i>GRM8</i>
BTA-104491-no-rs	4	85759993	3.29E-05	1	1	<i>KCND2</i>
ARS-BFGL-NGS-91142	3	93523689	1.33E-05	0.4515	0.4512	<i>LRP8</i>
ARS-BFGL-NGS-113944	3	95120026	2.34E-05	0.7959	0.7952	<i>NRD1</i>
Нармаp41703-BTA-97902	16	59188330	4.78E-08	0.001625	0.001625	<i>PAPPA2</i>
ARS-BFGL-NGS-1422	5	103539042	5.49E-05	1	1	<i>PEX5</i>
BTB-01320261	5	11058587	8.23E-05	1	1	<i>PPFIA2</i>
ARS-BFGL-NGS-92628	16	51095203	0.0001427	1	1	<i>PRDM16</i>
Нармаp53958-rs29016492	4	87191167	7.60E-05	1	1	<i>PTPRZ1</i>
BTB-01593521	16	56996623	5.93E-08	0.002015	0.002015	<i>RABGAP1L</i>

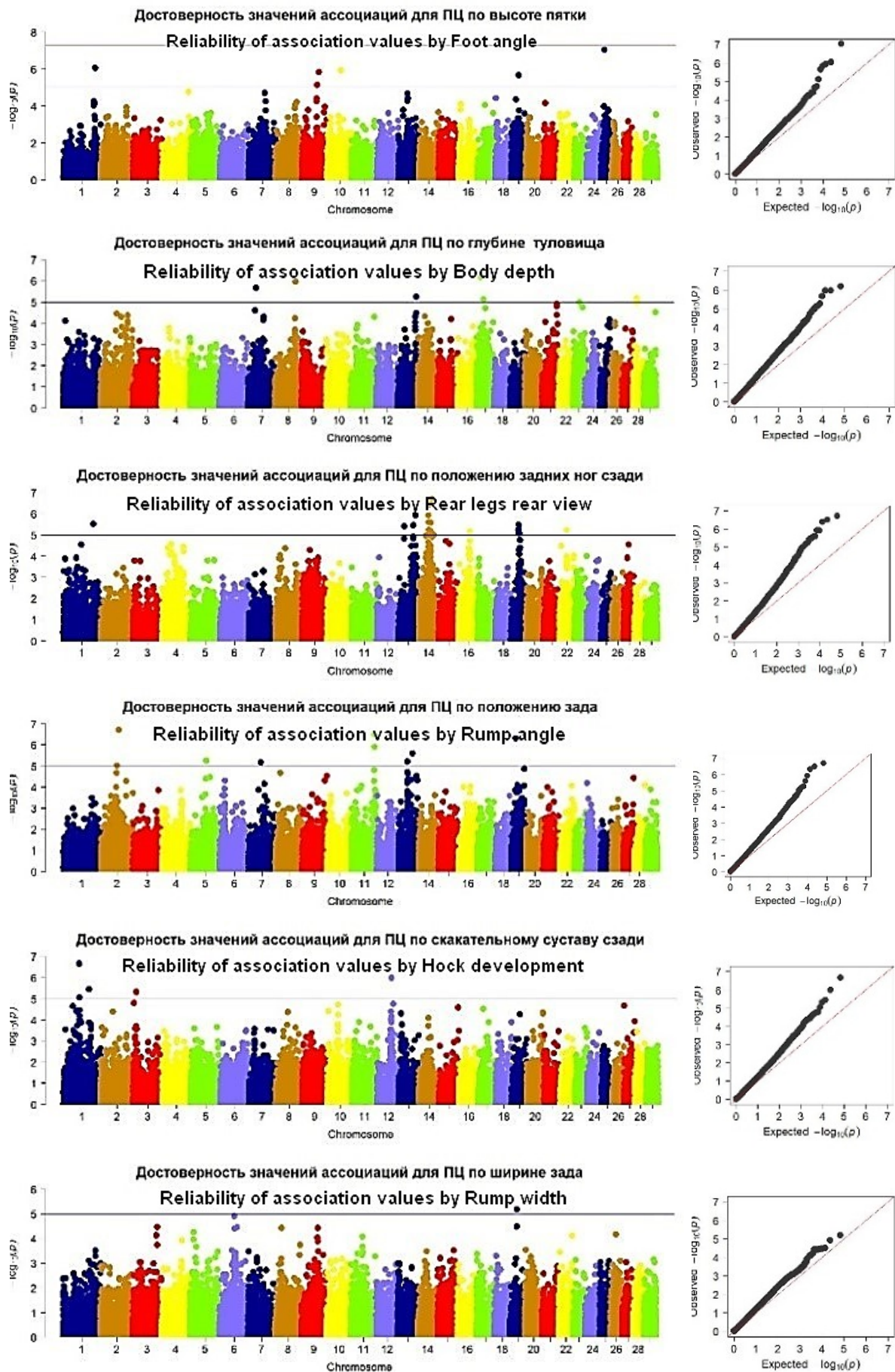
1	2	3	4	5	6	7
Длина передних долей вымени / Fore udder length						
BTB-01593511	16	57032020	5.93E-08	0.002015	0.002015	<i>RABGAP1L</i>
ARS-BFGL-NGS-13155	16	57675039	4.76E-05	1	1	<i>RABGAP1L</i>
ARS-BFGL-NGS-29059	8	90282154	8.04E-05	1	1	<i>SECISBP2</i>
ARS-BFGL-NGS-74373	16	51811400	7.56E-06	0.2568	0.2567	<i>SKI</i>
BTB-00633561	16	31630574	0.000122	1	1	<i>SMYD3</i>
Длина сосков / Teat length						
ARS-BFGL-NGS-18294	5	108746845	0.0001446	1	1	<i>CACNA2D4</i>
Нармаp44614-BTA-72802	5	21114508	4.34E-05	1	1	<i>DCN</i>
BTB-01482585	4	30688131	0.0001259	1	1	<i>DNAH11</i>
ARS-BFGL-NGS-15904	4	13148484	5.99E-05	1	1	<i>DYNC111</i>
ARS-BFGL-NGS-90634	17	37306252	6.27E-06	0.213	0.213	<i>FSTL5</i>
Нармаp44079-BTA-45543	19	44899442	0.0001341	1	1	<i>GPATCH8</i>
ARS-BFGL-NGS-48879	27	14959042	1.93E-05	0.6556	0.6555	<i>SORBS2</i>
Глубина туловища / Body depth						
Нармаp27950-BTA-130038	15	57938462	6.60E-05	1	1	<i>ANO3</i>
ARS-BFGL-NGS-108347	25	40963341	6.93E-05	1	1	<i>CARD11</i>
Нармаp49519-BTA-19205	2	68058489	3.50E-05	1	1	<i>DPP10</i>
Нармаp41914-BTA-60848	26	20100276	8.94E-05	1	1	<i>HPSE2</i>
ARS-BFGL-NGS-69298	13	78214545	5.53E-06	0.1878	0.1877	<i>KCNB1</i>
Нармаp59644-rs29012735	7	28416847	2.51E-05	0.8512	0.8509	<i>LMNB1</i>
ARS-BFGL-NGS-32207	25	41646364	9.62E-05	1	1	<i>MAD1L1</i>
ARS-BFGL-NGS-17494	17	18044557	6.62E-07	0.02249	0.02249	<i>MAML3</i>
Нармаp54841-rs29022067	17	29881642	0.0001069	1	1	<i>PGRMC2</i>
ARS-USMARC-Parent-AY853303-no-rs	13	75383374	0.0001474	1	1	<i>PLTP</i>
BTB-00470051	11	28358739	0.0001226	1	1	<i>PRKCE</i>
ARS-BFGL-NGS-106057	8	87402415	5.75E-05	1	1	<i>ROR2</i>
Нармаp48457-BTA-75505	21	15265826	8.52E-05	1	1	<i>SLCO3A1</i>
Глубина вымени / Udder depth						
Нармаp48671-BTA-17038	11	67383421	6.01E-05	1	1	<i>ANTXR1</i>
Нармаp31111-BTA-141921	4	15341331	9.94E-05	1	1	<i>COL28A1</i>
ARS-BFGL-NGS-41022	25	5662943	3.59E-05	1	1	<i>FOX1</i>
Нармаp26823-BTC-021812	25	6639565	8.25E-05	1	1	<i>FOX1</i>
ARS-BFGL-BAC-33563	19	57017362	8.29E-05	1	1	<i>KCTD2</i>
Нармаp48695-BTA-25246	23	49283896	3.77E-05	1	1	<i>LYRM4</i>
ARS-BFGL-BAC-11783	11	74603943	6.20E-05	1	1	<i>NCOA1</i>
Нармаp43004-BTA-64153	28	37359315	3.66E-05	1	1	<i>NRG3</i>
ARS-BFGL-NGS-111936	19	29383514	0.0001194	1	1	<i>STX8</i>
BTA-74881-no-rs	5	106230591	5.31E-05	1	1	<i>TIGAR</i>
Нармаp52513-rs29024428	3	35785053	9.57E-05	1	1	<i>VAV3</i>
Крепость телосложения / Strength of the physique						
ARS-BFGL-NGS-59769	14	3006509	9.68E-05	1	1	<i>BAIL</i>
BTA-45203-no-rs	1	100237544	2.57E-05	0.8715	0.8714	<i>GOLIM4</i>
ARS-BFGL-BAC-32488	19	44843763	8.52E-05	1	1	<i>GPATCH8</i>
ARS-BFGL-NGS-29703	15	4692182	5.28E-05	1	1	<i>PDGFD</i>
ARS-BFGL-NGS-34801	25	15963644	0.0001058	1	1	<i>XYLT1</i>
Молочный тип / Angularity						
ARS-BFGL-NGS-117515	27	14147458	2.34E-05	0.7955	0.7955	<i>CCDC111</i>
ARS-BFGL-NGS-42990	10	65970755	5.01E-05	1	1	<i>DDHD1</i>
ARS-BFGL-NGS-13810	3	59889122	6.10E-05	1	1	<i>DNASE2B</i>

1	2	3	4	5	6	7
Молочный тип / Angularity						
UA-IFASA-7336	1	60862725	0.0001248	1	1	<i>GAP43</i>
ARS-BFGL-BAC-32488	19	44843763	0.0001187	1	1	<i>GPATCH8</i>
ARS-BFGL-NGS-32207	25	41646364	1.01E-05	0.3428	0.3428	<i>MAD1L1</i>
ARS-BFGL-NGS-33887	25	41703966	7.12E-05	1	1	<i>MAD1L1</i>
ARS-BFGL-NGS-8543	25	41766398	0.0001362	1	1	<i>MAD1L1</i>
ARS-BFGL-NGS-12480	12	81642369	8.58E-05	1	1	<i>NALCN</i>
BTA-53040-no-rs	1	131423039	0.0001357	1	1	<i>PIK3CB</i>
ARS-BFGL-NGS-105708	15	67734760	4.29E-05	1	1	<i>PRR5L</i>
Положение зада / Rump angle						
UA-IFASA-9311	13	38186854	1.99E-05	0.6757	0.6754	<i>BFSP1</i>
ARS-BFGL-NGS-26401	13	56128139	4.24E-05	1	1	<i>CDH4</i>
BTA-32348-no-rs	13	38674487	5.39E-05	1	1	<i>CSRP2BP</i>
ARS-BFGL-NGS-118784	13	38656618	6.48E-05	1	1	<i>CSRP2BP</i>
BTB-01096725	4	78440044	0.0001452	1	1	<i>HECW1</i>
BTA-69346-no-rs	3	107223273	0.0001464	1	1	<i>MACF1</i>
ARS-BFGL-NGS-50500	11	96474351	3.21E-07	0.01089	0.01089	<i>MAPKAP1</i>
Нарма60189-rs29017117	11	96449907	1.23E-06	0.04194	0.04194	<i>MAPKAP1</i>
ARS-BFGL-NGS-19462	19	17811655	0.0001467	1	1	<i>MYO1D</i>
ARS-BFGL-NGS-12334	11	95516698	5.35E-05	1	1	<i>NR5A1</i>
Нарма51598-BTA-47943	2	65700940	2.13E-05	0.7245	0.7242	<i>SLC35F5</i>
ARS-BFGL-NGS-41092	7	50276051	6.74E-06	0.2291	0.229	<i>SPOCK1</i>
ARS-BFGL-NGS-52939	19	56244442	1.40E-05	0.4755	0.4753	<i>SRP68</i>
ARS-BFGL-NGS-115280	13	76955034	3.01E-05	1	1	<i>SULF2</i>
BTA-94264-no-rs	9	95991198	5.07E-05	1	1	<i>SYNJ2</i>
BTB-01785636	6	20297397	4.96E-05	1	1	<i>TBCK</i>
Прикрепление передних долей вымени / Fore udder attachment						
ARS-BFGL-NGS-54023	13	75693756	2.51E-05	0.8519	0.8514	<i>CDH22</i>
ARS-BFGL-NGS-87511	3	89489290	7.51E-05	1	1	<i>DAB1</i>
BTA-48579-no-rs	2	95463866	7.25E-06	0.2462	0.2462	<i>DYTN</i>
Нарма41349-BTA-74576	5	94597691	0.0001437	1	1	<i>EPS8</i>
BTB-00147118	3	96238184	6.29E-05	1	1	<i>FAF1</i>
ARS-BFGL-NGS-24364	17	35250836	0.0001094	1	1	<i>FGF2</i>
BTB-01461921	3	100936726	1.25E-05	0.4234	0.4233	<i>IPP</i>
ARS-BFGL-NGS-44363	4	85664528	4.08E-06	0.1386	0.1386	<i>KCND2</i>
Нарма41943-BTA-71550	4	85711706	9.28E-05	1	1	<i>KCND2</i>
Нарма53154-ss46527107	19	54044562	1.98E-05	0.6736	0.6732	<i>LGALS3BP</i>
Нарма32626-BTA-155816	3	100126720	5.75E-05	1	1	<i>MKNK1</i>
BTB-00216812	5	7314405	1.25E-05	0.4241	0.424	<i>NAV3</i>
BTA-73513-no-rs	5	7338536	0.0001085	1	1	<i>NAV3</i>
BTB-01413749	26	4972470	0.0001224	1	1	<i>PCDH15</i>
ARS-BFGL-NGS-38813	20	20256131	5.59E-05	1	1	<i>PDE4D</i>
ARS-BFGL-NGS-115184	3	99644517	3.23E-05	1	1	<i>PDZK1IP1</i>
ARS-BFGL-NGS-69509	5	10236503	9.19E-06	0.3122	0.3121	<i>PTPRR</i>
Нарма53958-rs29016492	4	87191167	0.0001471	1	1	<i>PTPRZ1</i>
Нарма53772-ss46526870	10	37055538	1.53E-05	0.5192	0.519	<i>RPAP1</i>
ARS-BFGL-NGS-52939	19	56244442	5.33E-05	1	1	<i>SRP68</i>
BTB-00753516	11	19344832	7.05E-05	1	1	<i>STRN</i>
Нарма49260-BTA-66294	29	9963108	0.0001279	1	1	<i>TMEM126A</i>
ARS-BFGL-BAC-14805	10	59927870	2.39E-05	0.8124	0.8119	<i>TRPM7</i>
ARS-BFGL-NGS-116451	3	114252911	8.15E-05	1	1	<i>TRPM8</i>

1	2	3	4	5	6	7
Прикрепление передних долей вымени / Fore udder attachment						
ARS-BFGL-NGS-115987	19	57797006	0.0001175	1	1	<i>TTYH2</i>
Нармап34838-BES10_Contig603_291	10	38424075	9.45E-05	1	1	<i>UBR1</i>
BTA-118330-no-rs	19	13042183	3.49E-05	1	1	<i>USP32</i>
Постановка задних ног – вид сзади / Rear legs position – rear view						
ARS-BFGL-NGS-91503	16	49867758	0.0001431	1	1	<i>AJAP1</i>
BTB-00752611	14	59139878	1.17E-05	0.3967	0.3964	<i>ANGPT1</i>
BTB-00083647	15	34294990	1.93E-05	0.6569	0.6563	<i>ASAM</i>
ARS-BFGL-NGS-21302	13	55973589	3.34E-05	1	1	<i>CDH4</i>
ARS-BFGL-NGS-52892	13	64068392	3.52E-06	0.1197	0.1197	<i>EIF2S2</i>
BTA-69986-no-rs	4	32205395	8.44E-05	1	1	<i>IGF2BP3</i>
Нармап54972-rs29014977	13	64399733	8.68E-05	1	1	<i>ITCH</i>
ARS-BFGL-NGS-100950	13	63302542	0.0001373	1	1	<i>LPLUNC1</i>
ARS-BFGL-NGS-15878	19	33980233	3.41E-06	0.1158	0.1158	<i>NCOR1</i>
ARS-BFGL-NGS-59927	16	48229459	6.70E-05	1	1	<i>NPHP4</i>
ARS-BFGL-NGS-61218	22	6539120	3.45E-05	1	1	<i>OSBPL10</i>
BTA-38605-no-rs	16	43880343	8.82E-05	1	1	<i>PEX14</i>
ARS-BFGL-NGS-115932	8	17295687	0.0001274	1	1	<i>PLAA</i>
ARS-BFGL-NGS-77093	16	51011081	0.0001431	1	1	<i>PRDM16</i>
Нармап35906-SCAFFOLD25274_18984	13	63733206	1.49E-05	0.5068	0.5064	<i>PXMP4</i>
ARS-BFGL-NGS-4759	19	35253851	5.39E-05	1	1	<i>RAI1</i>
UA-IFASA-7664	14	66494815	1.03E-05	0.3498	0.3496	<i>RGS22</i>
ARS-BFGL-BAC-27653	16	47971231	1.97E-05	0.6703	0.6697	<i>RNF207</i>
BTB-01941088	19	38752116	1.76E-05	0.599	0.5986	<i>SKAP1</i>
ARS-BFGL-NGS-24867	13	66395465	0.0001325	1	1	<i>SLA2</i>
Нармап35517-SCAFFOLD30611_18172	19	34608965	8.15E-05	1	1	<i>SLC47A1</i>
ARS-BFGL-NGS-39315	19	39239455	4.10E-05	1	1	<i>SP2</i>
BTB-00567405	14	47438919	7.02E-05	1	1	<i>TNFRSF11B</i>
UA-IFASA-6858	14	45843102	3.89E-05	1	1	<i>ZBTB10</i>
BTA-63812-no-rs	14	42045113	1.19E-06	0.04046	0.04045	<i>ZFHX4</i>
ARS-BFGL-NGS-75973	13	63769995	1.27E-05	0.4301	0.4298	<i>ZNF341</i>
Расположение сосков вымени / Front teat placement						
ARS-BFGL-NGS-117867	3	22115328	8.64E-05	1	1	<i>BCL9</i>
Нармап39282-BTA-63744	8	85482389	9.00E-05	1	1	<i>CENPP</i>
ARS-BFGL-NGS-16198	10	68029646	5.56E-06	0.1888	0.1888	<i>FBXO34</i>
ARS-BFGL-NGS-53243	8	69550332	7.29E-05	1	1	<i>GFRA2</i>
ARS-BFGL-NGS-212	8	85645138	2.94E-05	0.999	0.9984	<i>IPPK</i>
Нармап48930-BTA-87766	12	81619169	9.35E-05	1	1	<i>NALCN</i>
ARS-BFGL-NGS-12480	12	81642369	0.0001147	1	1	<i>NALCN</i>
BTA-53040-no-rs	1	131423039	0.0001385	1	1	<i>PIK3CB</i>
Нармап33691-BTA-89291	20	10295382	7.71E-05	1	1	<i>RAD17</i>
ARS-BFGL-NGS-91860	26	31520567	5.10E-05	1	1	<i>RBM20</i>
Нармап31149-BTA-152372	10	67391727	1.47E-05	0.5001	0.4999	<i>SAMD4A</i>
BTA-60438-no-rs	25	40341603	8.57E-05	1	1	<i>SDK1</i>
ARS-BFGL-NGS-102803	9	96131728	0.0001181	1	1	<i>SERAC1</i>
Нармап38124-BTA-81328	8	62575787	9.46E-05	1	1	<i>SHB</i>
BTB-00087821	2	24695545	1.84E-05	0.6259	0.6256	<i>SLC25A12</i>
Нармап47175-BTA-110475	10	60267486	0.0001307	1	1	<i>SLC27A2</i>
ARS-BFGL-BAC-16144	1	112551212	8.44E-05	1	1	<i>VN2R407P</i>
ARS-BFGL-NGS-86056	4	82796269	8.61E-05	1	1	<i>VPS41</i>

1	2	3	4	5	6	7
Ширина зада / Rump width						
ВТА-121917-no-rs	9	70213859	3.70E-05	1	1	<i>AKAP7</i>
Нармаp47346-ВТА-61001	26	23964078	6.88E-05	1	1	<i>CNNM2</i>
ARS-BFGL-NGS-93711	6	74084829	3.51E-05	1	1	<i>IGFBP7</i>
ARS-BFGL-NGS-94424	3	103043290	3.39E-05	1	1	<i>PTPRF</i>
Нармаp54495-rs29018810	11	49612828	8.55E-05	1	1	<i>TCF7L1</i>
ВТА-87036-no-rs	5	14741492	0.0001081	1	1	<i>TSPAN19</i>
Скакательный сустав – вид сзади / Hock development – rear view						
ВТB-00747541	19	35494190	5.55E-05	1	1	<i>COPS3</i>
ВТB-00032200	1	67764428	2.18E-07	0.00741	0.00741	<i>DIRC2</i>
Нармаp53387-rs29010859	3	13779538	4.94E-06	0.1679	0.1679	<i>ETV3L</i>
ARS-BFGL-NGS-97032	10	44773388	5.89E-05	1	1	<i>GNG2</i>
ВТB-01337883	12	66902915	1.80E-05	0.6108	0.6107	<i>GPC5</i>
UA-IFASA-5307	1	69835860	8.86E-06	0.3011	0.3011	<i>ITGB5</i>
Нармаp38055-ВТА-120751	1	69475667	6.37E-05	1	1	<i>KALRN</i>
ARS-BFGL-NGS-59612	1	69435214	6.50E-05	1	1	<i>KALRN</i>
ARS-BFGL-NGS-118460	1	69201417	0.0001454	1	1	<i>KALRN</i>
ARS-BFGL-NGS-75511	13	9755065	5.03E-05	1	1	<i>MACROD2</i>
ВТА-88624-no-rs	11	29691021	0.0001314	1	1	<i>MSH2</i>
ВТB-00795717	8	52557297	4.35E-05	1	1	<i>PCSK5</i>
ARS-BFGL-NGS-111113	10	45387461	1.96E-05	0.6667	0.6666	<i>RBPMS2</i>
ВТА-34599-no-rs	1	68227488	3.53E-05	1	1	<i>SEC22A</i>
Нармаp40403-ВТА-15429	1	66230091	0.0001206	1	1	<i>STXBP5L</i>
ARS-BFGL-NGS-4246	3	3105030	1.58E-05	0.5349	0.5349	<i>UCK2</i>
Угол задних ног – вид сбоку / Rear legs set						
Нармаp51788-ВТА-102182	11	70703633	5.88E-05	1	1	<i>CLIP4</i>
ARS-BFGL-NGS-21808	22	35771697	1.10E-05	0.3743	0.3743	<i>CNKSР3</i>
ВТА-115216-no-rs	2	113419747	3.99E-05	1	1	<i>CUL3</i>
ВТB-00108937	2	107478590	3.83E-06	0.1302	0.1302	<i>CYP27A1</i>
ARS-BFGL-NGS-58499	8	60319936	1.96E-05	0.6672	0.667	<i>GBA2</i>
ВТB-01209089	6	67105986	3.41E-05	1	1	<i>MGC127695</i>
ВТB-02084339	8	23907145	0.0001387	1	1	<i>MLLT3</i>
ВТB-01214467	3	4335766	4.99E-05	1	1	<i>PBX1</i>
Нармаp30374-ВТC-002159	14	2468020	0.0001138	1	1	<i>RHPN1</i>
ВТB-01120372	15	44972007	0.0001401	1	1	<i>RIC3</i>
ARS-BFGL-NGS-6104	11	104456040	0.0001277	1	1	<i>TMEM8C</i>
ARS-BFGL-NGS-13653	14	3137184	9.58E-05	1	1	<i>TSNARE1</i>
Высота в крестце / Stature						
ARS-BFGL-NGS-115671	1	2313042	0.0001209	1	1	<i>CIH21ORF63</i>
ARS-BFGL-NGS-32207	25	41646364	7.88E-05	1	1	<i>MAD1L1</i>
Высота пятки / Foot angle						
ARS-BFGL-NGS-37759	1	131906267	7.31E-05	1	1	<i>ARMC8</i>
ARS-BFGL-NGS-87456	7	72424026	5.57E-05	1	1	<i>EBF1</i>
ARS-BFGL-NGS-58677	8	85329708	8.68E-05	1	1	<i>IARS</i>
ARS-BFGL-NGS-35155	25	14261980	9.26E-08	0.003145	0.003145	<i>MYH11</i>
ВТB-01183131	8	83537018	0.0001359	1	1	<i>PTCH1</i>
ARS-BFGL-NGS-4854	13	39378251	3.95E-05	1	1	<i>SLC24A3</i>
ARS-BFGL-NGS-105614	19	22438784	4.45E-05	1	1	<i>TIMM22</i>
Высота задних долей / Rear udder height						
ВТB-02084339	8	23907145	6.90E-05	1	1	<i>MLLT3</i>
ВТB-00633646	16	31654996	6.27E-05	1	1	<i>SMYD3</i>





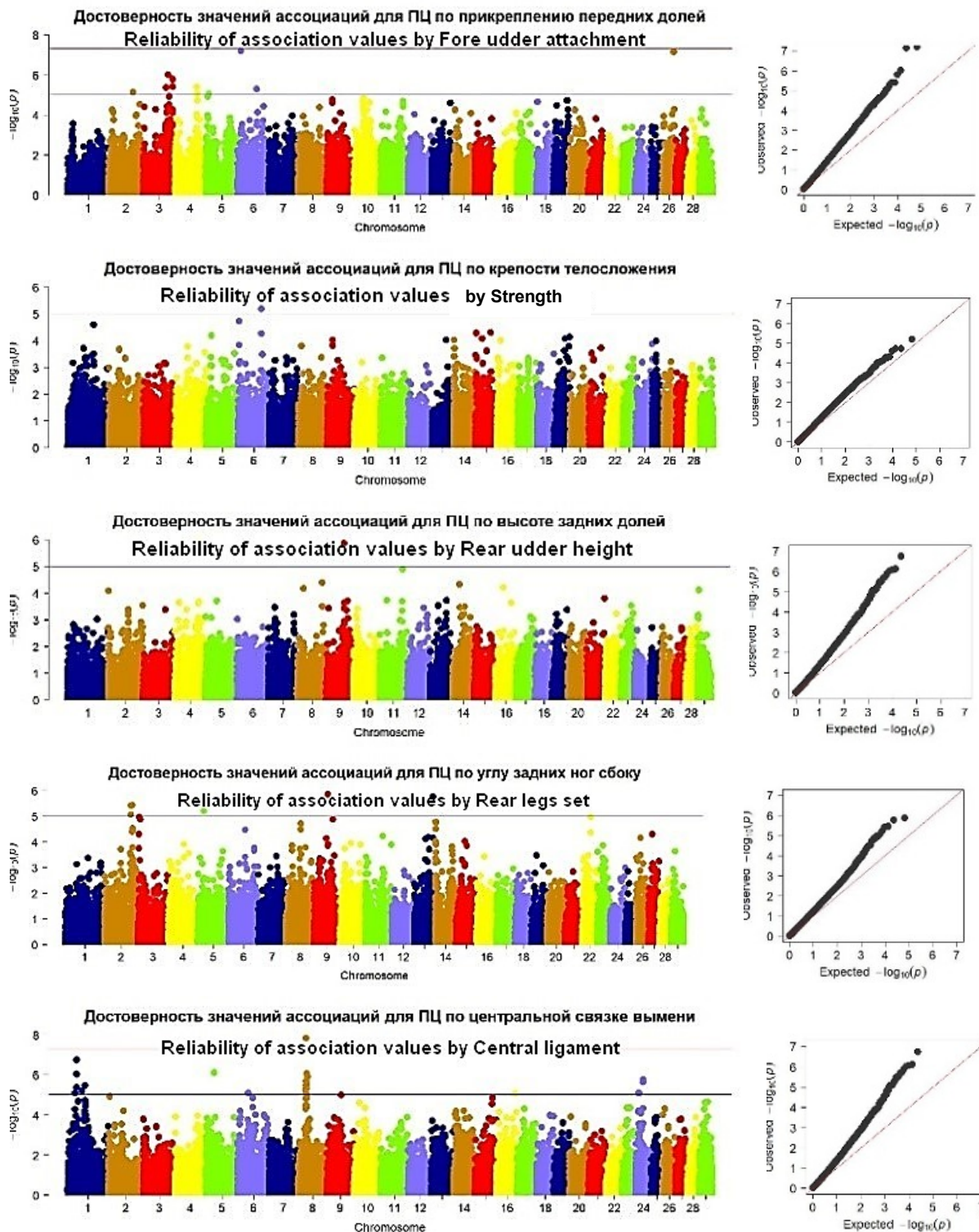


Рис. 2. Генетическая архитектура признаков экстерьера (система «Б»): глубина туловища, положение зада, ширина зада, угол задних ног – вид сбоку, высота пятки, постановка задних ног – вид сзади, прикрепление передних долей вымени, высота задних долей, центральная связка, глубина вымени, расположение передних сосков, длина сосков, крепость телосложения, молочный тип, длина передних долей вымени, скакательный сустав – вид сзади, высота задних долей. Полногеномные манхеттен плоты (слева), графики вероятностей (квантиль-квантиль) (справа) /

Fig. 2. Genetic architecture of conformation traits (system «B»): body depth, rump angle, rump width, rear legs set, foot angle, rear legs rear view, fore udder attachment, rear udder height, central ligament, udder depth, front teat placement, teat length, strength, angularity, fore udder length, hock development rear view, stature. Genome-wide Manhattan plots (left), probability plots (quantile-quantile) (right)

Выявленные SNP локализованы на 28 хромосомах: BTA1 (18 SNP), BTA2 (6 SNP), BTA3 (19 SNP), BTA4 (11 SNP), BTA5 (12 SNP), BTA6 (6 SNP), BTA 7 (3 SNP), BTA8 (12 SNP), BTA9 (4 SNP), BTA10 (10 SNP), BTA11 (12 SNP), BTA12 (3 SNP), BTA13 (17 SNP), BTA14 (8 SNP), BTA15 (5 SNP), BTA16 (16 SNP), BTA17 (4 SNP), BTA19 (15 SNP), BTA20 (5 SNP), BTA21 (1 SNP), BTA22 (1 SNP), BTA23 (3 SNP), BTA24 (1 SNP), BTA25 (10 SNP), BTA26 (4 SNP), BTA27 (2 SNP), BTA28 (1 SNP), BTA29 (4 SNP). В области данных достоверно значимых SNP идентифицировано 193 гена-кандидата, ассоциированных с изучаемыми признаками экстерьера.

Выявленные наиболее достоверные значимые мутации отмечены наибольшим «выбросом» за первый уровень по Бонферрони или более «строгий» второй уровень значимости по методу Холма. Так, по системе «А» по молочному типу наибольшую значимость имели гены, расположенные на 10, 25 хромосомах, по признаку туловища – на 10, 25 и 27 хромосомах, по признаку конечностей – на 6, 17 хромосоме, по признаку вымени – на 1, 9, 12, 17 хромосоме (рис. 1). По системе «Б» наибольшую значимость по глубине вымени имели гены, расположенные на 3, 28 хромосоме, по центральной связке – на 1, 5 хромосоме, по длине передних долей вымени – на 3, 16 хромосоме, по длине сосков – на 17 хромосоме, по глубине туловища – на 7, 8, 13, 17 хромосоме, по молочному типу – на 1, 25 хромосоме, по положению зада – на 2, 7, 11, 13, 19 хромосоме, по прикреплению передних долей вымени – на 26 хромосоме, по постановке задних ног – вид сзади – на 13, 14 хромосоме, по расположению сосков вымени – на 1, 8, 10, 25 хромосоме, по ширине зада – на 6 хромосоме, по скакательному суставу – вид сзади – на 1, 3, 12 хромосоме, по углу задних ног – вид сбоку – на 2, 3 хромосоме, по высоте в крестце – на 7 хромосоме (рис. 2). При визуализации «выбросов» на манхеттен плотах имелся ряд значений, не отмеченных далее в таблицах 1 и 2, и в описании, данном выше. Это связано с тем, что детектированные однонуклеотидные полиморфизмы на искомым хромосомах относились к генам, аннотация которых ранее не производилась, несмотря на значительную достоверность ассоциаций последних. Вся достоверность значимых ассоциаций по точечным

мутациям находилась в пределах $p < 1.80E-08 - 0.0001474$, что относится к высокому уровню значимости.

Выявлено 78 генов-кандидатов с показателями количественных признаков исследуемых генов, аннотированных по SNP (табл. 3, 4). Обнаруженные в результате GWAS-анализа однонуклеотидные замены в значительной степени соответствовали генам и QTL, ранее аннотированным другими исследователями для признаков молочной продуктивности, фертильности и экстерьера крупного рогатого скота. Так, для признаков экстерьера по системе «А»: молочный тип, туловище, конечности, вымя детектировано 8 генов (*GAP43*, *MAD1L1*, *RPAP1*, *SOX5*, *FAT4*, *FGF2*, *NALCN*, *PCCA*), расположенных на хромосомах 1, 5, 10, 12, 17, 25, сопряженных с локусами количественных признаков, ассоциированных с обмускулинностью, количеством эмбрионов, глубиной туловища, молочными формами, постановкой конечностей, типом передающей способности, шириной крестца, ростом, крепостью, длиной сосков, прикреплением вымени, центральной связкой вымени, глубиной вымени, положением дна вымени, легкостью отелов, молочными формами, количеством осеменений для зачатия, продуктивным долголетием, процентом молочного жира, выходом молочного жира, процентом молочного белка, выходом молочного белка, индексом генетической селекции молочного скота, выходом телят, постановкой задних конечностей – вид сбоку, мертворождением, расположением сосков, центральной связкой вымени, уровнем дофамина, потреблением сухого вещества, остаточным потреблением корма (табл. 3).

По системе «Б», исходя из однонуклеотидных замен, находящихся непосредственно внутри локализации генов, обнаружено 70 последних, отвечающих за такие признаки экстерьера, как центральная связка, длина передних долей вымени, глубина туловища, глубина вымени, крепость, молочный тип, положение зада, прикрепление передних долей вымени, постановка задних ног – вид сзади, расположение сосков вымени, ширина зада, скакательный сустав – вид сзади, угол задних ног – вид сбоку, высота в крестце, высота пятки (табл. 4).

Таблица 3 – Аннотация генов по однонуклеотидным полиморфизмам (SNP) с локусами количественных признаков (QTL) – система «А» /
Table 3 – Annotation of genes by Single nucleotide polymorphism (SNP) with Quantitative Trait Loci (QTL) – system «A»

Хромо- сома / Chro- mosome	Ген / Gene	Позиция гена / Gene position	Название гена / Gene name	Ассоциации гена. Показатели количественных признаков исследуемого гена, аннотированного по SNP с локусами количественных признаков (QTL) / Gene associations. Quantitative trait marks of the studied gene annotated by SNP with quantitative trait loci
Система «А» / System «A»				
Молочный тип / Angularity				
1	<i>GAP43</i>	60,306,675...60,407,777	Growth associated protein 43	Обмускуленность / Muscularity (QTL:282919) [13]
25	<i>MAD1L1</i>	40,984,697...41,222,674	Mitotic arrest deficient 1 like 1	Количество эмбрионов / Number of transferable embryos (QTL:170059) [14]
10	<i>RPAPI</i>	36,938,820...36,954,726	RNA polymerase II associated protein 1	Глубина туловища / Body depth (QTL:44534); Молочные формы / Dairy forms (QTL:44535); Постановка конечностей / Feet and leg conformation (QTL:44536); Тип передающей способности / PTA type (QTL:44537); Ширина крестца / Rump width (QTL:44540); Рост / Stature (QTL:44541); Крепость / Strength (QTL:44542); Длина сосков / Teat length (QTL:44543); Прикрепление вымени / Udder attachment (QTL:44538); Центральная связка вымени / Udder cleft (QTL:44544); Глубина вымени / Udder depth (QTL:44545); Положение дна вымени / Udder height (QTL:44539); DOI: 10.2527/2003.8171706x [15]
Туловище / Body				
5	<i>SOX5</i>	85,456,641...86,631,208	SRY-box 5	Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:173457; QTL:173455; QTL:173458; QTL:173456; QTL:214813)
Конечности / Legs				
17	<i>FAT4</i>	32,339,653...32,530,581	FAT atypical cadherin 4	Содержание конъюгированной линолевой кислоты в молоке / Milk conjugated linoleic acid content (QTL:33606; QTL:33713);
17	<i>FGF2</i>	34,801,330...34,860,849	Fibroblast growth factor 2 (basic)	Ранняя эмбриональная смертность / Early embryonic survival (QTL:11441; QTL:11440); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:136250); Содержание транс 6/8 октадееновой кислоты в молоке / Milk trans-6/8-Octadecenoic acid content (QTL:122321); Удой / Milk yield (QTL:136249); Структура крестца / Rump conformation (QTL:125902); [16, 17, 18]
Вымя / Udder				
12	<i>MA1CN</i>	77,565,336...77,868,638	Sodium leak channel, non-selective	Легкость отелов / Calving easy (QTL:46542); Молочные формы / Dairy forms (QTL:46532); Количество осеменений для зачатия / Inseminations per conception (QTL:212752); Продуктивное долголетие / Length of productive life (QTL:46537); Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:46534); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:46535); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:46538); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:46539); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QTL:46536); Выход телят / Pregnancy rate (QTL:46533); Постановка задних конечностей – вид сбоку / Rear leg placement - side view (QTL:46540); Мертворождение / Stillbirth (QTL:46543); Расположение сосков / Teat placement (QTL:46541); Центральная связка вымени / Udder cleft (QTL:46544)
12	<i>PCCA</i>	76,754,289...77,174,973	Propionyl CoA carboxylase, alpha polypeptide	Уровень дофамина / Dopamine level (QTL:194885; QTL:194888; QTL:194886; QTL:194899; QTL:194887); Потребление сухого вещества / Dry matter intake (QTL:213509; QTL:213512; QTL:213515; QTL:213510; QTL:213513; QTL:213508; QTL:213511; QTL:213514); Остаточное потребление корма / Residual feed intake (QTL:14662) [19, 20, 21]

Таблица 4 – Аннотация генов по однонуклеотидным полиморфизмам (SNP) с локусами количественных признаков (QTL) – система «Б» /
Table 4 – Annotation of genes by Single nucleotide polymorphism (SNP) with Quantitative Trait Loci (QTL) – system «B»

Хромосома / Chromosome	Ген / Gene	Позиция гена / Gene position	Название гена / Gene name	Ассоциации гена. Показатели количественных признаков исследуемого гена, аннотированного по SNP с локусами количественных признаков (QTL) / Gene associations. Quantitative trait marks of the studied gene annotated by SNP with quantitative trait loci
1	2	3	4	5
Система «Б» / System «B»				
Центральная связка / Central ligament				
1	<i>ADCY5</i>	67,666,355...67,823,121	Adenylate cyclase 5	Легкость отелов / Calving ease (QTL:38477; QTL:38480); Молочные формы / Dairy forms (QTL:38478); Постановка задних конечностей вид сбоку / Rear leg placement - side view (QTL:38479); Мертворождение / Stillbirth (QTL:38481) [22]
6	<i>FRYL</i>	67,179,392...67,325,259	FRY like transcription coactivator	Легкость отелов / Calving ease (QTL:42059); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:42058); Рост / Stature (QTL:42060); Длина сосков / Teat length (QTL:42061); Центральная связка вымени / Udder cleft (QTL:42062)
1	<i>GOLGB1</i>	66,150,513...66,226,632	Golgin B1	Выход телят / Pregnancy rate (QTL:173355)
1	<i>ILDR1</i>	66,476,255...66,517,318	Immunoglobulin like domain containing receptor 1	Процент оплодотворяемости / Conception rate (QTL:176326; QTL:176325); Выход телят / Pregnancy rate (QTL:173357)
1	<i>ITGB5</i>	69,196,890...69,312,117	Integrin subunit beta 5	Восприимчивость к респираторным заболеваниям / Bovine respiratory disease susceptibility KPC (QTL:159989); Процент оплодотворяемости / Conception rate (QTL:176327) [22, 23]
6	<i>MAPK10</i>	100,907,861...101,279,063	Mitogen-activated protein kinase 10	Восприимчивость к респираторным заболеваниям KPC / Bovine respiratory disease susceptibility (QTL:160099); Уровень лютенизирующего гормона / Luteinizing hormone level (QTL:30611) [24]
1	<i>SEC22A</i>	67,555,423...67,636,996	SEC22 homolog A, vesicle trafficking protein	Легкость отелов / Calving ease (QTL:38469; QTL:38458; QTL:38467; QTL:38476); Молочные формы / Dairy forms (QTL:38470); Постановка конечностей / Feet and leg conformation (QTL:38460); Угол задних ног / Rear leg angle (QTL:38459; QTL:38471); Продуктивное долголетие / Length of productive life (QTL:38463; QTL:38473); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:38461); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:38464; QTL:38474); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:38465); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QTL:38472; QTL:38462); Постановка задних конечностей – вид сбоку / Rear leg placement – side view (QTL:38466; QTL:38475); Количество соматических клеток / Somatic cell score (QTL:38468)
1	<i>STXBP5L</i>	65,607,360...65,929,765	Syntaxin binding protein 5 like	Выход телят / Pregnancy rate (QTL:173354)
25	<i>ZP2</i>	19,019,145...19,055,627	Zona pellucida glycoprotein 2	Процент оплодотворяемости / Conception rate (QTL:57176); Продуктивное долголетие / Length of productive life (QTL:57209); Выход телят / Pregnancy rate (QTL:57136) [25]
Длина передних долей вымени / Fore udder length				
10	<i>ALDH1A2</i>	52,215,057...52,340,290	Aldehyde dehydrogenase 1 family member A2	Вес костяка / Carcass weight (QTL:160604) [26]
20	<i>ERGIC1</i>	4,595,084...4,709,462	Endoplasmic reticulum-golgi intermediate compartment 1	Выход телят / Pregnancy rate (QTL:65954) [27]
4	<i>KCNQ2</i>	84,688,361...85,252,121	Potassium voltage-gated channel subfamily D member 2	Количество осеменений для зачатия / Inseminations per conception (QTL:212527)
16	<i>PAPP42</i>	57,722,987...58,039,310	Pappalysin 2	Интервал от отела до плодотворного осеменения / Calving to conception interval (QTL:157293); Размер уха / Ear size (QTL:27248); Осеменяемость телок / Heifer pregnancy (QTL:152644; QTL:152645; QTL:152643; QTL:152646) [28]

1	2	3	4	5
			Длина передних долей вымени / Fore udder length	
5	<i>PPF1A2</i>	10,847,694...11,349,904	PTPRF interacting protein alpha 2	Уровень глутамата / Glutamate level (QTL:194915); Содержание пентадециновой кислоты в молоке / Milk pentadecylic acid content (QTL:35085; QTL:34162; QTL:34450)
16	<i>PRDM16</i>	49,573,784...49,985,717	PR domain containing 16	Среднесуточный прирост / Average daily gain (QTL:11310; QTL:11312); Глубина туловища / Body depth (QTL:48329; QTL:48318); Живая масса / Body weight (QTL:11311; QTL:11309); Постановка конечностей / Feet and leg conformation; (QTL:48310; QTL:48331; QTL:48320); Угол задних ног / Rear leg angle (QTL:48309; QTL:48330; QTL:48319); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QTL:48335); Тип передающей способности / PTA type (QTL:48332; QTL:48321; QTL:48311); Постановка задних конечностей – вид сзади / Rear leg placement - rear view (QTL:48324; QTL:48336; QTL:48314); Ширина крестца / Rump width (QTL:48339; QTL:48326); Рост / Stature (QTL:48340); Крепость / Strength (QTL:48341; QTL:48327; QTL:48316); Расположение сосков / Teat placement (QTL:48312; QTL:48315; QTL:48333; QTL:48322; QTL:48325; QTL:48337); Прикрепление вымени / Udder attachment (QTL:48313; QTL:48334; QTL:48323); Центральная связка вымени / Udder cleft (QTL:48342); Глубина вымени / Udder depth (QTL:48328; QTL:48343; QTL:48317); Положение дна вымени / Udder height (QTL:48338) [29]
16	<i>RABGAP1L</i>	56,060,506...56,224,347	RAB GTPase activating protein 1 like	Количество соматических клеток / Somatic cell score (QTL:175773)
8	<i>SECISBP2</i>	88,754,954...88,789,359	SECIS binding protein 2	Легкость отелов / Calving ease (QTL:43751; QTL:43758); Продуктивное долголетие / Length of productive life (QTL:43755); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:43752); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:43756); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:43757); Удой / Milk yield (QTL:43753); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QTL:43754); Мертворождение / Stillbirth (QTL:43759)
16	<i>SMYD3</i>	30,839,282...31,578,861	SET and MYND domain containing 3	Содержание линолевой кислоты в молоке / Milk linoleic acid content (QTL:32546); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:168292; QTL:156690); Толщина подкожного жира / Subcutaneous fat thickness (QTL:157073)
15	<i>ANO3</i>	56,896,778...57,353,989	Аностамин 3	Глубина туловища / Body depth
2	<i>DPP10</i>	66,957,140...67,756,694	Dipeptidyl peptidase like 10	Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:174269; QTL:174267; QTL:174268)
26	<i>HPSE2</i>	19,537,705...20,258,083	Нерапаназ 2 (inactive)	Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:175822); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:176199); Удой / Milk yield (QTL:175926)
				Легкость отелов / Calving ease (QTL:52747; QTL:52782; QTL:52757; QTL:52769); Молочные формы / Dairy forms (QTL:52759; QTL:52748; QTL:52772); Угол задних ног / Rear leg angle (QTL:52761; QTL:52750; QTL:52774); Продуктивное долголетие / Length of productive life (QTL:52765; QTL:52754; QTL:52778); Индекс C14 молока Milk / C14 index (QTL:34210; QTL:34213; QTL:34528; QTL:34827; QTL:34830; QTL:34207; QTL:34211; QTL:34214; QTL:34751; QTL:34828; QTL:34831; QTL:34209; QTL:34212; QTL:34262; QTL:34826; QTL:34829; QTL:35044); Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:52762; QTL:52751; QTL:52775); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:52752; QTL:52776; QTL:174315; QTL:52763; QTL:52755); Процент молочного белка (QTL:52779; QTL:52766; QTL:52767); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:52756; QTL:52780; QTL:107792); Содержание миристолиновой кислоты / Myristoleic acid content (QTL:52764); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QTL:52753; QTL:52777; QTL:52773); Выход телят / Pregnancy rate (QTL:52760; QTL:52749; QTL:52768); Постановка задних конечностей – вид сбоку / Rear leg placement – side view (QTL:52781); Мертворождение / Stillbirth (QTL:52758; QTL:52770; QTL:52783); Центральная связка вымени / Udder cleft (QTL:52771)

1	2	3	4	5
			Глубина туловища / Body depth	
17	<i>MAML3</i>	17,560,715...18,020,917	Mastermind like transcriptional coactivator 3	Легкость отелов / Calving ease (QTL:48970); Угол задних ног / Rear leg angle (QTL:48972); Продуктивное долголетие / Length of productive life (QTL:48977); Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:48973); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:48974); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:48978); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:48979); Удой / Milk yield (QTL:48975); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QTL:48976); Выход телят / Pregnancy rate (QTL:48971); Постановка задних конечностей – вид сбоку / Rear leg placement – side view (QTL:48980); Мертворождение / Stillbirth (QTL:48982)
11	<i>PRKCE</i>	28,092,699...28,635,155	Protein kinase C, epsilon	Восприимчивость к респираторным заболеваниям КРС / Bovine respiratory disease susceptibility (QTL:160148); Строение вымени / Udder structure (QTL:25016)
21	<i>SLCO3A1</i>	14,841,868...15,219,512	Solute carrier organic anion transporter family member 3A1	Живая масса / Body weight (QTL:224435); Цвет копытного рога / Sole hemorrhage (QTL:277125) [30]
			Глубина вымени / Udder depth	
11	<i>ANTXR1</i>	67,359,835...67,614,440	ANTXR cell adhesion molecule 1	Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:35040) [30]
19	<i>KCTD2</i>	56,384,718...56,398,764	Potassium channel tetramerization domain containing 2	Глубина туловища / Body depth (QTL:50147); Молочные формы / Dairy forms (QTL:50148); Постановка конечностей / Feet and leg conformation (QTL:50150); Угол задних ног / Rear leg angle (QTL:50149); Тип передающей способности / PTA type (QTL:50151); Постановка задних конечностей – вид сзади / Rear leg placement – rear view (QTL:50154); Ширина крестца / Rump width (QTL:50157); Рост / Stature (QTL:50158); Крепость / Strength (QTL:50159); Длина сосков / Teat length (QTL:50152; QTL:50155); Прикрепление вымени / Udder attachment (QTL:50153); Центральная связка вымени / Udder cleft (QTL:50160); Глубина вымени / Udder depth (QTL:50161); Положение дна вымени / Udder height (QTL:50156)
11	<i>NCOA1</i>	74,447,679...74,612,613	Nuclear receptor coactivator 1	Глубина туловища / Body depth (QTL:45569); Легкость отелов / Calving ease (QTL:45570); Молочные формы / Dairy forms (QTL:45571); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:45574); Удой / Milk yield (QTL:45575); Тип передающей способности / PTA type (QTL:45572); Постановка задних конечностей – вид сзади / Rear leg placement – rear view (QTL:45576); Ширина крестца / Rump width (QTL:45579); Рост / Stature (QTL:45580); Расположение сосков / Teat placement (QTL:45577); Прикрепление вымени / Udder attachment (QTL:45573); Центральная связка вымени / Udder cleft (QTL:45581); Положение дна вымени / Udder height (QTL:45578)
28	<i>NRG3</i>	36,896,231...38,133,747	Neuregulin 3	Глубина туловища / Body depth (QTL:53791; QTL:53800); Легкость отелов / Calving ease (QTL:53817; QTL:53829; QTL:53812); Молочные формы / Dairy forms (QTL:53818); Постановка конечностей / Feet and leg conformation (QTL:53802); Угол задних ног / Rear leg angle (QTL:53801; QTL:53820); Продуктивное долголетие / Length of productive life (QTL:53825); Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:53821; QTL:53803); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:53822; QTL:53806); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:53808; QTL:53826); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:53827); Удой / Milk yield (QTL:53823); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QTL:53824; QTL:53807); Тип передающей способности / PTA type (QTL:53792; QTL:53804; QTL:53819); Выход телят / Pregnancy rate (QTL:53809); Постановка задних конечностей – вид сзади / Rear leg placement – rear view (QTL:53828); Постановка задних конечностей – вид сбоку / Rear leg placement – side view (QTL:53795); Ширина крестца Rump width (QTL:53811; QTL:53813); Рост / Stature (QTL:53796); Мертворождение / Stillbirth (QTL:53830); Крепость / Strength (QTL:53831; QTL:53814; QTL:53797); Прикрепление вымени / Udder attachment (QTL:53793; QTL:53805); Центральная связка вымени / Udder cleft (QTL:53798; QTL:53832; QTL:53815); Глубина вымени / Udder depth (QTL:53816; QTL:53799); Положение дна вымени / Udder height (QTL:53810; QTL:53794) [31]

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5
			Глубина вымени / Udder depth	
5	<i>TIGAR</i>	105,728,270...105,747,420	TP53 induced glycolysis regulatory phosphatase	Ширина тазобедренного сустава / Thurl width (QTL:167542) [27]
3	<i>VAV3</i>	35,311,510...35,741,238	Vav 3 guanine nucleotide exchange factor	Интервал от первого до последнего осеменения / Interval from first to last insemination (QTL:62379)
25	<i>XYLT1</i>	15,541,401...15,893,697	Xylosyltransferase I	Крепость / Strength
			Молочный тип / Angularity	
15	<i>PRR5L</i>	66,763,192...66,918,825	Proline rich 5 like	Восприимчивость к респираторным заболеваниям КРС // Bovine respiratory disease susceptibility (QTL:160207)
			Положение зада / Rump angle	
13	<i>BFSP1</i>	37,877,530...37,915,849	Beaded filament structural protein 1	Количество соматических клеток / Somatic cell score (QTL:125197)
13	<i>CDH4</i>	55,175,303...55,653,964	Cadherin 4	Уровень дофамин / Dopamine level (QTL:194889); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:174920); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:175493); Удой / Milk yield (QTL:174524; QTL:174525; QTL:174526)
4	<i>HECW1</i>	77,535,555...78,014,885	HECT, C2 and WW domain containing E3 ubiquitin protein ligase 1	Содержание витамина B12 в молоке / Milk vitamin B-12 content (QTL:23180)
11	<i>MAPKAP1</i>	96,283,684...96,516,555	Mitogen-activated protein kinase associated protein 1	Восприимчивость к респираторным заболеваниям КРС / Bovine respiratory disease susceptibility (QTL:137214); Возраст первого осеменения / First service conception (QTL:212253); Количество осеменений для зачатия / Inseminations per conception (QTL:212736)
7	<i>SPOCK1</i>	48,363,784...48,948,043	SPARC (osteonectin), swev and kazal like domains proteoglycan 1	Глубина туловища / Body depth (QTL:43024; QTL:43004); Легкость отелов / Calving ease (QTL:43005; QTL:43035; QTL:43019; QTL:43025); Процент оплодотворенных животных / Conception rate (QTL:176455); Постановка конечностей / Feet and leg conformation (QTL:43007); Угол задних ног / Rear leg angle (QTL:43006; QTL:43027); Продуктивное долголетие / Length of productive life (QTL:43014; QTL:43033); Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:43028; QTL:43008); Удой / Milk yield (QTL:43031; QTL:43012; QTL:43011; QTL:174129; QTL:174128); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:43015); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:43016); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QTL:43032; QTL:43013); Тип передающей способности / PTA type (QTL:43029; QTL:43009); Выход теллят / Pregnancy rate (QTL:43026); Постановка задних конечностей – вид сзади / Rear leg placement – rear view (QTL:43017); Ширина крестца / Rump width (QTL:43034; QTL:43018); Количество соматических клеток / Somatic cell score (QTL:43036); Рост / Stature (QTL:43038; QTL:43021); Мертворождение / Stillbirth (QTL:43037; QTL:43020); Крепость / Strength (QTL:43039; QTL:43022); Прикрепление вымени / Udder attachment (QTL:43030; QTL:43010); Глубина вымени / Udder depth (QTL:43040; QTL:43023)
19	<i>SRP68</i>	55,592,383...55,617,117	Signal recognition particle 68	Глубина туловища / Body depth (QTL:50098); Молочные формы / Dairy forms (QTL:50099); Постановка конечностей / Feet and leg conformation (QTL:50101); Угол задних ног / Rear leg angle (QTL:50100); Тип передающей способности / PTA type (QTL:50102); Постановка задних конечностей – вид сзади / Rear leg placement – rear view (QTL:50105); Ширина крестца / Rump width (QTL:50108); Рост / Stature (QTL:50109); Крепость / Strength (QTL:50110); Расположение сосков / Teat placement (QTL:50103; QTL:50106); Прикрепление вымени / Udder attachment (QTL:50104); Центральная связка вымени / Udder cleft (QTL:50111); Глубина вымени / Udder depth (QTL:50112); Положение дна вымени / Udder height (QTL:50107)
10	<i>SYNJ2</i>	94,544,427...94,653,073	Synaptotagmin 2 binding protein	Количество осеменений для зачатия / Inseminations per conception (QTL:212702)

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5
			Прикрепление передних долей вымени / Fore udder attachment	
3	<i>DABI</i>	87,798,801...89,138,515	DAB adaptor protein 1	Легкость отелов / Calving ease (QTL:40061; QTL:40056); Молочные формы / Dairy forms (QTL:40057); Продуктивное долголетие / Length of productive life (QTL:40060); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QTL:40059); Выход телят / Pregnancy rate (QTL:40058); Количество соматических клеток / Somatic cell score (QTL:40062); Мертворождение / Stillbirth (QTL:40063); Длина сосков / Teat length (QTL:40064); Глубина вымени / Udder depth (QTL:40065)
5	<i>EP88</i>	94,125,364...94,321,581	Epidermal growth factor receptor pathway substrate 8	Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:173508; QTL:173511; QTL:30777; QTL:65672; QTL:173509; QTL:173512; QTL:30782; QTL:173510); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:30783; QTL:174057; QTL:174058); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:174056); Удой / Milk yield (QTL:174818; QTL:174410); Выживаемость молодняка / Young stock survival (QTL:24991; QTL:139848) [25, 32, 33]
26	<i>PCDH15</i>	4,509,054...5,569,297	Protocadherin related 15	Уровень глутамата / Glutamate level (QTL:194917; QTL:194918); Индекс С14 в молоке / Milk C14 index (QTL:32651) [19, 33]
5	<i>PTPRR</i>	42,611,524...42,884,727	Protein tyrosine phosphatase, receptor type R	Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:173972); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:175383; QTL:175381; QTL:175382); Удой / Milk yield (QTL:174395; QTL:174393; QTL:174394); Количество соматических клеток / Somatic cell score (QTL:175696); Центральная связка вымени / Udder cleft (QTL:137185) [34, 35]
10	<i>TRPM7</i>	59,648,276...59,757,063	Transient receptor potential cation channel subfamily M member 7	Возраст первого осеменения / First service conception (QTL:212230); Количество осеменений для зачатия / Inseminations per conception (QTL:212695)
19	<i>TTYH2</i>	57,151,007...57,186,696	Tweety family member 2	Глубина туловища / Body depth (QTL:50191); Молочные формы / Dairy forms (QTL:50192); Постановка конечностей / Feet and leg conformation (QTL:50194); Угол задних ног / Rear leg angle (QTL:50193); Постановка задних конечностей – вид сзади / Rear leg placement – rear view (QTL:50197); Ширина крестца / Rump width (QTL:50200); Рост / Stature (QTL:50201); Крепость / Strength (QTL:50202); Расположение сосков / Teat placement (QTL:50198); Прикрепление вымени / Udder attachment (QTL:50196); Центральная связка вымени / Udder cleft (QTL:50203); Глубина вымени / Udder depth (QTL:50204); Положение дна вымени / Udder height (QTL:50199)
10	<i>UBR1</i>	38,181,492...38,333,647	Ubiquitin protein ligase E3 component n-recogin 1	Глубина туловища / Body depth (QTL:44630; QTL:44616); Молочные формы / Dairy form (QTL:44631; QTL:44617); Постановка конечностей / Feet and leg conformation (QTL:44632; QTL:44618); Возраст первого осеменения / First service (QTL:212228); Количество осеменений для зачатия / Inseminations per conception (QTL:212693); Тип передающей способности / PTA type (QTL:44633; QTL:44619); Постановка задних конечностей – вид сзади / Rear leg placement – rear view (QTL:44635; QTL:44621); Ширина крестца / Rump width (QTL:44624; QTL:44638); Рост / Stature (QTL:44639; QTL:44625); Крепость / Strength (QTL:44640; QTL:44626); Длина сосков / Teat length (QTL:44627; QTL:44641); Расположение сосков / Teat placement (QTL:44636; QTL:44622); Прикрепление вымени / Udder attachment (QTL:44634; QTL:44620); Центральная связка / Udder cleft (QTL:44642); Глубина вымени / Udder depth (QTL:44628; QTL:44643); Положение дна вымени / Udder height (QTL:44629; QTL:44637; QTL:44623)
19	<i>USP32</i>	12,577,140...12,780,975	Ubiquitin specific peptidase 32	Живая масса / Body weight (QTL:224421; QTL:224422)
			Постановка задних ног – вид сзади / Rear legs – rear view	
14	<i>ANGPT1</i>	56,815,170...57,287,107	Angiotensin 1	Легкость отелов / Calving ease (QTL:47661; QTL:47667); Продуктивное долголетие / Length of productive life (QTL:47665); Индекс С14 в молоке / Milk C14 index (QTL:34468; QTL:34469); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:175039; QTL:175040; QTL:175041); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QTL:47664); Выход телят / Pregnancy rate (QTL:47662); Постановка задних конечностей – вид сбоку / Rear leg placement – side view (QTL:47666); Мертворождение / Stillbirth (QTL:47668; QTL:47663) [19, 36, 37]

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5
			Постановка задних ног – rear view	
13	<i>ITCH</i>	63,785,090...63,885,035	Itchy E3 ubiquitin protein ligase	Живая масса / Body weight (QTL:65976); Положение зада / Rump angle (QTL:43858) [38, 39] Глубина туловища / Body depth (QTL:51556); Молочные формы / Dairy forms (QTL:51557); Постановка конечностей / Feet and leg conformation (QTL:51559); Угол задних ног / Rear leg angle (QTL:51558); Ско-рость молокоотдачи / Milking speed (QTL:220093); Тип передающей способности / PTA type (QTL:51560); Постановка задних конечностей вид сзади / Rear leg placement - rear view (QTL:51563); Ширина крестца / Rump width (QTL:51566); Рост / Stature (QTL:51567); Крепость / Strength (QTL:51568); Расположение сосков / Teat placement (QTL:51561; QTL:51564)4 Прикрепление вымени / Udder attachment (QTL:51562); Центральная связка вымени / Udder cleft (QTL:51569); Глубина вымени / Udder depth (QTL:51570); Поло-жение дна вымени / Udder height (QTL:51565)
19	<i>RAL1</i>	34,649,676...34,733,214	Retinoic acid induced 1	Содержание конъюгированной линолевой кислоты в молоке / Milk conjugated linoleic acid content (QTL:32324); Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:173829)
14	<i>RG522</i>	64,258,882...64,400,338	Regulator of G-protein signaling 22	Индекс С18 в молоке / Milk C18 index (QTL:32634); Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:173793; QTL:173794); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:175109; QTL:176086; QTL:175110; QTL:175108; QTL:176085); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:18875); Содержание стеариновой кислоты в молоке / Milk stearic acid content (QTL:32596)
13	<i>SLA2</i>	65,711,044...65,737,754	Src like adaptor 2 Milk protein yield	Восприимчивость к паратуберкулезу / M. paratuberculosis susceptibility (QTL:169915) [40]
14	<i>ZFH4</i>	39,848,751...40,054,151	Zinc finger homeobox 4	Постановка конечностей / Feet and leg conformation (QTL:125874); Удой / Milk yield (QTL:125126)
			Расположение сосков вымени / Front teat placement	
3	<i>BCL9</i>	22,002,059...22,098,080	BCL9 transcription coactivator	Скорость откорма / Finishing precocity (QTL:282902)
8	<i>GFR42</i>	68,983,194...69,102,300	GDNF family receptor alpha 2	Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:223348); Удой / Milk yield (QTL:2233328) [41]
2	<i>SLC25A12</i>	24,637,412...24,736,032	Solute carrier family 25 member 12	Легкость отелов / Calving ease (QTL:39074; QTL:39086); Молочные формы / Dairy forms (QTL:39075); Постановка конечностей / Feet and leg conformation (QTL:39078); Угол задних ног / Rear leg angle (QTL:39077); Продуктивное долголетие / Length of productive life (QTL:39083); Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:39079); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:39081); Процент молоч-ного белка / Milk protein percentage (QTL:39084); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QTL:39082); Выход телят / Pregnancy rate (QTL:39076); Постановка задних конечностей вид сбоку / Rear leg placement - side view (QTL:39085); Количество соматических клеток / Somatic cell score (QTL:39087); Мертворождение / Stillbirth (QTL:39088); Крепость / Strength (QTL:39089); Длина сосков / Teat length (QTL:39090); Прикрепление вымени Udder attachment/(QTL:39080); Глубина вымени / Udder depth (QTL:39091)
			Ширина зада / Rump width	
26	<i>CNNM2</i>	23,551,257...23,735,886	Cyclin and CBS domain divalent metal cation transport mediator 2	Индекс С14 в молоке / Milk C14 index (QTL:32617; QTL:32977; QTL:32980; QTL:33463; QTL:34229; QTL:34519; QTL:34631; QTL:32975; QTL:32978; QTL:32981; QTL:34397; QTL:34520; QTL:34670; QTL:32571; QTL:32976; QTL:32979; QTL:33257; QTL:33907; QTL:34399; QTL:34521; QTL:34851); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:174336; QTL:175922); Содержание митохондриальной кислоты / Milk myristoleic acid content (QTL:33721; QTL:33724; QTL:32528; QTL:33719; QTL:33722; QTL:33725; QTL:33720; QTL:33723); Выход молочного белка/ Milk protein yield (QTL:176315); Удой / Milk yield (QTL:176077); Содержание стеариновой кислоты в молоке / Stearic acid content (QTL:107713)
6	<i>IGFBP7</i>	72,405,517...72,485,427	Insulin-like growth factor binding protein 7	Интервал от первого до последнего осеменения / Interval from first to last insemination (QTL:16238); Про-цент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:16235); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:16234); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:16236); Удой / Milk yield (QTL:16233); Процент невозврата / Non-return rate (QTL:16237)

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5
			Скакательный сустав – вид сверху / Hoof development rear view	
1	<i>KALRN</i>	68,433,938...69,126,177	Kalirin RhoGEF kinase	Процент оплодотворённых животных / Conception rate (QTL:176331; QPL:176329; QPL:176332; QTL:176330; QPL:176333; QPL:176328); Выход телят / Pregnancy rate (QPL:173360) [29]
13	<i>MACROD2</i>	7,552,593...9,883,237	MACRO domain containing 2	Легкость отелов / Calving ease (QTL:43702); Молочные формы / Dairy forms (QTL:43694); Продуктивное долголетие / Length of productive life (QTL:43698); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:43696); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QPL:43699); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:43700); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QTL:43697); Выход телят / Pregnancy rate (QPL:43695); Положение зада / Rump angle (QTL:43701); Крепость / Strength (QTL:43703); Центральная связка вымени / Udder cleft (QPL:43704; QPL:28165) [42]
8	<i>PCSK5</i>	51,911,526...52,431,148	Proprotein convertase subtilisin/kexin type 5	Общее содержание коллагена в мышцах/ Muscle total collagen content (QTL:281221)
3	<i>UCK2</i>	2,980,896...3,106,327	Uridine-cytidine kinase 2	Тип конституции / Conformation score (QTL:282866)
			Угол задних ног – вид сбоку / Rear legs set	
9	<i>CNKSR3</i>	91,103,523...91,214,185	CNKSR family member 3	Обмускуленность / Muscularity (QPL:282928); Мертворождение / Stillbirth (QTL:44285); Глубина вымени / Udder depth (QTL:44286)
2	<i>CUL3</i>	112,586,826...112,699,628	Cullin 3	Легкость отелов / Calving ease (QTL:39549); Постановка конечностей / Feet and leg conformation (QTL:39541); Угол задних ног / Rear leg angle (QTL:39540); Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:39542); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:39543); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:39545); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:39546); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QTL:39544); Постановка задних конечностей – вид сверху / Rear leg placement – rear view (QTL:39547); Постановка задних конечностей – вид сбоку / Rear leg placement – side view (QPL:39548); Крепость / Strength (QTL:39550)
2	<i>CYP27A1</i>	106,740,008...106,782,299	Cytochrome P450, family 27, subfamily A, polypeptide 1	Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:16148); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:16149); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:16147); Удой / Milk yield (QTL:16146); Количество соматических клеток / Somatic cell score (QTL:16150) [43]
14	<i>RHPNI</i>	1,260,221...1,269,357	Rhopilin Rho GTPase binding protein 1	Содержание холестерина в молоке / Milk cholesterol content (QTL:161570); Процент молочного жира / Milk fat percentage (QPL:166947; QPL:161760; QPL:173604; QPL:32856); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:174170); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:174952; QPL:161877); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:175527); Удой / Milk yield (QTL:174558)
14	<i>TSNARE1</i>	1,902,552...2,019,964	T-SNARE domain containing 1	Температурой тела / Body temperature (QTL:218718); Процент молочного жира / Milk fat percentage (QTL:34177; QTL:285913; QTL:34245; QTL:34436; QPL:34555; QPL:34658; QPL:34928; QPL:173631; QPL:34178; QPL:34246; QPL:34553; QPL:34669; QPL:173632; QPL:34179; QPL:34435; QPL:34554; QPL:34927; QPL:173630); Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:174192; QPL:174190; QPL:174191; QPL:174189); Содержание пальмитиновой кислоты в молоке / Milk palmitic acid content (QTL:34571; QPL:34569; QPL:34572; QTL:34570; QPL:34573); Процент молочного белка / Milk protein percentage (QPL:174975; QPL:174973; QPL:174974); Выход молочного белка / Milk protein yield (QPL:175548); Удой / Milk yield (QTL:174584; QPL:174582; QTL:174583) [44]
			Высота пятки / Foot angle	
7	<i>EBF1</i>	70,283,493...70,713,852	EBF transcription factor 1	Глубина туловища / Body depth (QPL:43242); Легкость отелов / Calving ease (QPL:43243; QPL:43255); Постановка конечностей / Feet and leg conformation (QPL:43245); Угол задних ног / Rear leg angle (QPL:43244); Процент молочного белка / Milk fat percentage (QPL:43246); Выход молочного жира / Milk fat yield (QPL:43248); Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:43251); Удой / Milk yield (QPL:43249); Индекс генетической селекции молочного скота / Net merit (QPL:43250); Тип передающей способности / PTA type (QPL:43247); Постановка задних конечностей вид сверху / Rear leg placement - rear view (QPL:43252); Ширина крестца / Rump width (QTL:43254); Рост / Stature (QPL:43256); Крепость / Strength (QPL:43257); Положение дна вымени / Udder height (QPL:43253); [45, 46]
8	<i>PTCHI</i>	82,098,128...82,168,564	Patched 1	Рост / Stature (QPL:16281)

На хромосомах 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 28 локализованы гены: *ADCY5*, *FRYL*, *GOLGB1*, *ILDRI*, *ITGB5*, *MAPK10*, *SEC22A*, *STXBP5L*, *ZP2*, *ALDH1A2*, *ERGIC1*, *KCND2*, *PAPPA2*, *PPFIA2*, *PRDM16*, *RABGAP1L*, *SECISBP2*, *SMYD3*, *ANO3*, *DPP10*, *HPSE2*, *MAML3*, *PRKCE*, *SLCO3A1*, *ANTXR1*, *KCTD2*, *NCOA1*, *NRG3*, *TIGAR*, *VAV3*, *XYLT1*, *PRR5L*, *BFSP1*, *CDH4*, *HECW1*, *MAPKAP1*, *SPOCK1*, *SRP68*, *SYNJ2*, *DAB1*, *EPS8*, *PCDH15*, *PTPRR*, *TRPM7*, *TTYH2*, *UBR1*, *USP32*, *ANGPT1*, *ITCH*, *OSBPL10*, *RAI1*, *RGS22*, *SLA2*, *ZFH4*, *BCL9*, *GFRA2*, *SLC25A12*, *CNNM2*, *IGFBP7*, *KALRN*, *MACROD2*, *PCSK5*, *UCK2*, *CNKSR3*, *CUL3*, *CYP27A1*, *RHPN1*, *TSNARE1*, *EBF1*, *PTCH1*. Выявленные гены сопряжены с локусами количественных признаков, ассоциированных с показателями, описанными выше по системе «А» оценки экстерьера, а также с содержанием пальмитиновой кислоты в молоке, температурой тела, количеством соматических клеток, типом конституции, общим содержанием коллагена в мышцах, продуктивным долголетием, интервалом от первого до плодотворного осеменения, содержанием миристиолеиновой кислоты, содержанием стеариновой кислоты в молоке, длиной сосков, легкостью отелов, скоростью откорма, восприимчивостью к паратуберкулезу, содержанием конъюгированной линолевой кислоты в молоке, живой массой, возрастом первого осеменения, количеством осеменений

для зачатия, уровнем глутамата, выживаемостью молодняка, восприимчивостью к респираторным заболеваниям КРС, содержанием витамина В12 в молоке, восприимчивостью к туберкулезу, среднесуточным приростом и так далее.

Гены: *GAP43*, *MAD1L1*, *FGF2*, *NALCN*, *ITGB5*, *SEC22A*, *STXBP5L*, *KCND2*, *PRDM16*, *SMYD3*, *CDH4*, *SRP68* обладали плеiotропным действием.

В контексте молочного скотоводства, геном-широкие ассоциативные исследования (GWAS-анализ) представляют собой революционный инструмент селекционного прогресса. Этот метод позволяет идентифицировать конкретные генетические варианты, ассоциированные с экономически важными признаками молочной продуктивности.

Заключение. Анализ полногеномных ассоциаций с признаками экстерьера коров позволил установить каузальные мутации, локализованные внутри них, из которых наиболее значимы нуклеотидные замещения в 78 детектированных генах. Выявленные генетические полиморфизмы согласуются с ранее аннотированными другими исследователями генами и QTL для признаков молочной продуктивности, фертильности и экстерьера крупного рогатого скота. Достоверность значимых ассоциаций по точечным мутациям находилась в пределах $p < 1.80E-08-0.0001474$.

References

1. Бытов М. В., Соколова О. В., Безбородова Н. А., Красноперов А. С., Исаева А. Г. Методы генотипирования крупного рогатого скота для post-GWAS аннотирования SNPs. *Аграрный вестник Урала*. 2023;23(6):67–75. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-235-06-67-75> EDN: KGDRES
- Bytov M. V., Sokolova O. V., Bezborodova N. A., Krasnoperov A. S., Isaeva A. G. Cattle genotyping methods for post-GWAS annotation of SNPs. *Agrarny vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023;23(6):67–75. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-235-06-67-75>
2. Qanbari S. On the Extent of Linkage Disequilibrium in the Genome of Farm Animals. *Frontiers in Genetics*. 2019;10:1304. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01304>
3. Fabbri M. C., Dadousis C., Bozzi R. Estimation of Linkage Disequilibrium and Effective Population Size in Three Italian Autochthonous Beef Breeds. *Animals (Basel)*. 2020;10(6):1034. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10061034>
4. Singh A., Kumar A., Mehrotra A., Pandey A. K., Mishra B. P., Dutt T. Estimation of linkage disequilibrium levels and allele frequency distribution in crossbred Vrindavani cattle using 50K SNP data. *PLoS One*. 2021;16(11):e0259572. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259572>
5. Joiret M., Mahachie John J. M., Gusareva E. S., Van Steen K. Confounding of linkage disequilibrium patterns in large scale DNA based gene-gene interaction studies. *BioData Mining*. 2019;12:11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13040-019-0199-7>
6. Gallagher M. D., Chen-Plotkin A. S. The Post-GWAS Era: From Association to Function. *American Journal of Human Genetics*. 2018;102(5):717–730. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2018.04.002>
7. Беляя Е. В., Бейшова И. С., Селионова М. И., Шулинский Р. С., Ульянова Т. В. Полногеномный поиск QLT-ассоциированных SNP для прогнозирования наследственного потенциала продуктивности у казахского белоголового скота. *Вестник АПК Ставрополя*. 2022;3(47):18–25. DOI: <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2022-11-47-18-25> EDN: ADTVBA
- Belaya E. V., Beyshova I. S., Selionova M. I., Shulinsky R. S., Ulyanova T. V. Genome-wide search for QLT-associated SNPs to predict the hereditary potential of productivity in kazakh white-headed cattle. *Vestnik APK Stavropolya*. 2022;11(47):18–25. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2022-11-47-18-25>

8. Быкова О. А., Степанов А. В., Костюнина О. В., Косилов В. И., Шевкунов О. А. Изучение аллельных вариантов SNPs, ассоциированных с воспроизводительной способностью коров чёрно-пёстрой породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023;1(99):283–287.

DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-99-1-283-287> EDN: JWUGMO

Bykova O. A., Stepanov A. V., Kostyunina O. V., Kosilov V. I., Shevkunov O. A. Study of allelic variants of SNPs associated with the reproductive ability of black-and-white cows. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023;1(99):283–287. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-99-1-283-287>

9. Нарышкина Е. Н., Сермягин А. А. Оценка генетической и геномной вариабельности признаков фертильности быков-производителей на основе локусов в геноме, ассоциированных с давлением отбора (обзор). Достижения науки и техники АПК. 2020;34(9):64–72. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10912> EDN: YLVVNZ

Naryshkina E. N., Sermiyagin A. A. Assessment of genetic and genomic variability of fertility traits in stud bulls based on loci associated with selection pressure (review). *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = *Achievements of Science and Technology of AICis*. 2020;34(9):64–72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10912>

10. Сермягин А. А., Быкова О. А., Лоретт О. Г., Костюнина О. В., Зиновьева Н. А. Оценка геномной вариабельности продуктивных признаков у животных голштинизированной черно-пестрой породы на основе GWAS анализа и ROH паттернов. Сельскохозяйственная биология. 2020;55(2):257–274.

DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2020.2.257rus> EDN: DTVHLI

Sermiyagin A. A., Bykova O. A., Lorets O. G., Kostyunina O. V., Zinovieva N. A. Genomic variability assess for breeding traits in holsteinized russian black-and-white cattle using GWAS analysis and ROH patter. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* = *Agricultural Biology*. 2020;55(2):257–274. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2020.2.257rus>

11. Абдельманова А. С., Форнара М. С., Бардуков Н. В., Сермягин А. А., Доцев А. В., Зиновьева Н. А. Полногеномное исследование ассоциаций snp с высотой в холке в популяциях локальных и трансграничных пород крупного рогатого скота в России. Сельскохозяйственная биология. 2021;56(6):1111–1122.

DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2021.6.1111rus> EDN: LSEIPS

Abdelmanova A. S., Fornara M. S., Bardukov N. V., Sermiyagin A. A., Dotsev A. V., Zinovieva N. A. Whole genome study of single nucleotide polymorphisms' associations with withers height in local and transboundary breeds in Russia. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* = *Agricultural Biology*. 2021;56(6):1111–1122. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2021.6.1111rus>

12. Савенко Н. А. Селекционер Подмосковья. М.: МСХиП МО, 2006. 84 с.

Savenko N. A. Breeder of the Moscow region. Moscow: *MSKhIP MO*, 2006. 84 p.

13. Chen S. Y., Oliveira H. R., Schenkel F. S., Pedrosa V. B., Melka M. G., Brito L. F. Archive Using imputed whole-genome sequence variants to uncover candidate mutations and genes affecting milking speed and temperament in Holstein cattle. *Journal of Dairy science*. 2020;103(11):10383–10398. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18897>

14. Jatou C., Schenkel F. S., Sargolzaei M., Cánova A., Malchiodi F., Price C. A., Baes C., Miglior F. Genome-wide association study and in silico functional analysis of the number of embryos produced by Holstein donors *Journal of dairy science*. 2018;101(8):7248–7257. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13848>

15. Campbell E. M. G., Nonneman D., Rohrer G. A. Fine mapping a quantitative trait locus affecting ovulation rate in swine on chromosome 8. *Journal of Animal Science*. 2003;81(7):1706–1714.

16. Wang X., Schutzkus V., Huang W., Rosa G. J. M., Khatib H. Analysis of segregation distortion and association of the bovine FGF2 with fertilization rate and early embryonic survival. *Animal Genetics*. 2009;40(5):722–728.

DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2009.01904.x>

17. Oikonomou G., Michailidis G., Kougioumtzis A., Avdi M., Banos G. Effect of polymorphisms at the STAT5A and FGF2 gene loci on reproduction, milk yield and lameness of Holstein cows. *Research in Veterinary Science*. 2011;91(2):235–239. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2011.01.009>

18. Marete A., Lund M. S., Boichard D., Ramayo-Caldas Y. A system-based analysis of the genetic determinism of udder conformation and health phenotypes across three French dairy cattle breeds. *PLoS One*. 2018;13(7):e0199931. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199931>

19. Chen Q., Qu K., Ma Z., Zhan J., Zhang F., Shen J. et al. Genome-Wide Association Study Identifies Genomic Loci Associated With Neurotransmitter Concentration in Cattle. *Frontiers in Genetics*. 2020;11:139.

DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00139>

20. Duarte D. A. S., Newbold C. J., Detmann E., Silva F. F., Freitas P. H. F., Veroneze R., Duarte M. S. Genome-wide association studies pathway-based meta-analysis for residual feed intake in beef cattle. *Animal Genetics*. 2019;50(2):150–153. DOI: <https://doi.org/10.1111/age.12761>

21. Sarlo Davila K. M., Howell A., Nunez A., Orelie A., Roe V., Rodriguez E. et al. Genome-wide association study identifies variants associated with hair length in Brangus cattle. *Animal Genetics*. 2020;51(5):811–814.

DOI: <https://doi.org/10.1111/age.12970>

22. Cai Z., Guldbrandtsen B., Lund M. S., Sahana G. Prioritizing candidate genes for fertility in dairy cows using gene-based analysis, functional annotation and differential gene expression. *BMC Genomics*. 2019;20(1):255.

DOI: <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5638-9>

23. Gangwar M., Kumar S., Ahmad S. F., Singh A., Agrawal S., Anitta P. L., Kumar A. Identification of genetic variants affecting reproduction traits in Vrindavani cattle. *Mammalian Genome*. 2024;35(1):99–111.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00335-023-10023-2>

24. Silva A. A., Silva D. A., Silva F. F., Costa C. N., Silva H. T., Lopes P. S. et al. GWAS and gene networks for milk-related traits from test-day multiple lactations in Portuguese Holstein cattle. *Journal of Applied Genetics*. 2020;61(3):465–476. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13353-020-00567-3>
25. Ilie D. E., Mizeranschi A. E., Mihali C. V., Neamț R. I., Goilean G. V., Georgescu O. I. et al. Genome-Wide Association Studies for Milk Somatic Cell Score in Romanian Dairy Cattle. *Genes (Basel)*. 2021;12(10):1495. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes12101495>
26. Chang T., Xia J., Xu L., Wang X., Zhu B., Zhang L. et al. A genome-wide association study suggests several novel candidate genes for carcass traits in Chinese Simmental beef cattle. *Animal Genetics*. 2018;49(4):312–316. DOI: <https://doi.org/10.1111/age.12667>
27. Saatchi M., Schnabel R. D., Taylor J. F., Garrick D. J. Large-effect pleiotropic or closely linked QTL segregate within and across ten US cattle breeds. *BMC Genomics*. 2014;15(1):442. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-442>
28. Leyva-Corona J. C., Reyna-Granados J. R., Zamorano-Algandar R., Sanchez-Castro M. A., Thomas M. G., Enns R. M. et al. Polymorphisms within the prolactin and growth hormone/insulin-like growth factor-1 functional pathways associated with fertility traits in Holstein cows raised in a hot-humid climate. *Tropical Animal Health and Production*. 2018;50(8):1913–1920. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1645-0>
29. Wang J., Li Z. J., Lan X. Y., Hua L. S., Huai Y. T., Huang Y. Z. et al. Two novel SNPs in the coding region of the bovine PRDM16 gene and its associations with growth traits. *Molecular Biology Reports*. 2010;37(1):571–577. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11033-009-9816-8>
30. Ibeagha-Awemu E., Peters S., Akwanji K., Imumorin I. G., Zhao X. High density genome wide genotyping-by-sequencing and association identifies common and low frequency SNPs, and novel candidate genes influencing cow milk traits. *Scientific Reports*. 2016;10(6):31109. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep31109>
31. Valente T. S., Baldi F., Sant'Anna A. C., Albuquerque L. G., Paranhos da Costa M. J. Genome-Wide Association Study between Single Nucleotide Polymorphisms and Flight Speed in Nellore Cattle. *PLoS One*. 2016;11(6):e0156956. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156956>
32. Wang X., Wurmser C., Pausch H., Jung S., Reinhardt F., Tetens J. et al. Identification and dissection of four major QTL affecting milk fat content in the German Holstein-Friesian population. *PLoS One*. 2012;7(7):e40711. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040711>
33. Jiang J., Ma L., Prakapenka D., VanRaden P. M., Cole J. B., Da Ya. A Large-Scale Genome-Wide Association Study in U.S. Holstein Cattle. *Frontiers in Genetics*. 2019;10:412. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00412>
34. Wu J., Wu T., Xie X., Niu Q., Zhao Z., Zhu B. et al. Genetic Association Analysis of Copy Number Variations for Meat Quality in Beef Cattle. *Foods*. 2023;12(21):3986. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12213986>
35. Tollerson M. W., Gill C. A., Herring A. D., Riggs P. K., Sawyer J. E., Sanders J. O., Riley D. G. Association of udder traits with single nucleotide polymorphisms in crossbred *Bos indicus*-*Bos taurus* cows. *Journal of Animal Science*. 2017;95(6):2399–2407. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1475>
36. Jiang J., Liu L., Gao Y., Shi L., Li Ya., Liang W., Sun D. Determination of genetic associations between indels in 11 candidate genes and milk composition traits in Chinese Holstein population. *BMC Genetics*. 2019;20(1):48. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12863-019-0751-y>
37. Haque M. A., Alam M. Z., Iqbal A., Lee Yu.-M., Dang Ch.-G., Kim J.-J. Genome-Wide Association Studies for Body Conformation Traits in Korean Holstein Population. *Animals (Basel)*. 2023;13(18):2964. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13182964>
38. Seaton G., Haley C. S., Knott S. A., Kearsley M., Visscher P. M. QTL Express: mapping quantitative trait loci in simple and complex pedigrees. *Visscher Bioinformatics*. 2002;18(2):339–340. DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/18.2.339>
39. Morris C. A., Cullen N. G., Glass B. C., Hyndman D. L., Manley T. R., Hickey Sh. M. et al. Fatty acid synthase effects on bovine adipose fat and milk fat. *Mamm Genome*. 2007;18(1):64–74. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00335-006-0102-y>
40. McGovern S. P., Purfield D. C., Ring S. C., Carthy T. R., Graham D. A., Berry D. P. Candidate genes associated with the heritable humoral response to *Mycobacterium avium* ssp. *paratuberculosis* in dairy cows have factors in common with gastrointestinal diseases in humans. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(5):4249–4263. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15906>
41. Higgins M. G., Fitzsimons C., McClure M. C., McKenna C., Conroy S., Kenny D. A. et al. GWAS and eQTL analysis identifies a SNP associated with both residual feed intake and GFRA2 expression in beef cattle. *Scientific Reports*. 2018;8(1):14301. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32374-6>
42. González-Ruiz S., Strillacci M. G., Durán-Aguilar M., Cantó-Alarcón G. J., Herrera-Rodríguez S. E., Bagnato A. et al. Genome-Wide Association Study in Mexican Holstein Cattle Reveals Novel Quantitative Trait Loci Regions and Confirms Mapped Loci for Resistance to Bovine Tuberculosis. *Animals (Basel)*. 2019;9(9):636. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9090636>
43. Pacheco H. A., da Silva S., Sigdel A., Mak C. K., Galvão K. N., Texeira R. A. et al. Gene Mapping and Gene-Set Analysis for Milk Fever Incidence in Holstein Dairy Cattle. *Frontiers in Genetics*. 2018;9:465. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00465>
44. Luo H., Li X., Hu L., Xu W., Chu Q., Liu A. et al. Genomic analyses and biological validation of candidate genes for rectal temperature as an indicator of heat stress in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(4):4441–4451. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18725>
-

45. Bouwman A. C., Bovenhuis H., Visker M. H. P. W., van Arendonk J. A. M. Genome-wide association of milk fatty acids in Dutch dairy cattle. *BMC Genetics*. 2011;11(12):43. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2156-12-43>

46. Nafikov R. A., Schoonmaker J. P., Korn K. T., Noack K., Garrick D. J., Koehler K. J. et al. Sterol regulatory element binding transcription factor 1 (SREBF1) polymorphism and milk fatty acid composition. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(4):2605–2616. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6075>

Сведения об авторах

✉ **Недашковский Игорь Сергеевич**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, зав. отделом национального каталога Национального центра генетических ресурсов с.-х. 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: vijinfo@yandex.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0487-4576>, e-mail: nedashkovsky_is@mail.ru

Контэ Александр Федорович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник отдела 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: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4877-0883>

Сермягин Александр Александрович, кандидат с.-х. наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), д. 55а, Московское шоссе, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1799-6014>

Кольцов Дмитрий Николаевич, доктор биол. наук, директор, обособленное подразделение Смоленский НИИСХ, ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур, д. 21, ул. Нахимова, г. Смоленск, Российская Федерация, 214025, e-mail: info.sml@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3977-8552>

Волкова Валерия Владимировна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории ДНК-технологий в животноводстве, 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: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2080-0182>

Information about the authors

✉ **Igor S. Nedashkovsky**, PhD in Biological Science, senior researcher, Head of the National Catalog Department of the National Center for Genetic Resources of Farm 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: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0487-4576>, e-mail: nedashkovsky_is@mail.ru

Aleksandr F. Konte, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Department of Population Genetics and Genetic Basis of Animal 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: vijinfo@yandex.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4877-0883>

Aleksandr A. Sermyagin, PhD in Agricultural Science, director, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Moskovskoe Shosse, 55a, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1799-6014>

Dmitry N. Koltsov, DCs in Biological Science, director, the separate division Smolensk Research Institute of Agriculture, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, st. Nakhimova 21, Smolensk, Russian Federation, 214025, e-mail: info.sml@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3977-8552>

Valeria V. Volkova, PhD in Biological Science, senior researcher, the Laboratory of DNA Technologies in Animal Husbandry, 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: vijinfo@yandex.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2080-0182>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1402-1410>

УДК 619:618.1:612.4:615.032

Динамика концентрации прогестерона в крови крупного рогатого скота при применении препарата Прогестамаг®

© 2025. С. В. Николаев✉

Институт агробиотехнологий имени А. В. Журавского Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар, Российская Федерация

Цель исследований – изучить динамику концентрации прогестерона в крови телок ($n = 10$) и лактирующих коров ($n = 10$) с признаками гипофункции яичников после однократного внутримышечного введения препарата Прогестамаг® в дозе 10 мл. Экспериментальная работа выполнена на животных айрширской породы. Гипофункцию яичников устанавливали методом ультразвуковой сонографии по отсутствию желтых тел и крупных фолликулов. Для определения уровня прогестерона до введения средства и в течение 14 дней после у животных брали венозную кровь. Концентрацию гормона оценивали иммуноферментативным методом. При расчете фармакокинетических показателей определяли максимальную концентрацию вещества (C_{max}), время наступления максимальной концентрации (T_{max}), период полувыведения ($T_{1/2}$), константу элиминации (K_{elim}). На основании полученных данных линейным методом рассчитывали дозозависимые изменения концентрации прогестерона. Установлено, что после однократного введения препарата происходил резкий подъем уровня исследуемого стероида. У телок T_{max} наблюдали на вторые сутки, при этом C_{max} составила 42,88 нмоль/л, $K_{elim} = 0,0083$, $T_{1/2} = 83,3$ ч. Достоверно высокая концентрация гормона прослеживалась в течение 9 дней. Пиковое содержание прогестерона у лактирующих коров также проявлялось через 48 часов, при этом C_{max} составила 24,96 нмоль/л, $K_{elim} = 0,0079$, а $T_{1/2} = 88,1$ ч. Дозозависимые расчеты показали, что для 7–10-дневных схем стимуляции половой функции у циклирующих телок терапевтический диапазон находится в пределах от 1 до 4 мл, у коров – от 2 до 7 мл препарата. Для лечения гипофункции гонад обоснованной дозировкой телкам можно считать объем от 2 до 6 мл, а лактирующим животным – от 4 до 7 мл средства. Таким образом, Прогестамаг® обладает умеренно пролонгированным действием, однако постепенное снижение уровня стероида в течение длительного времени может препятствовать достижению ребаунд-эффекта.

Ключевые слова: гормональная терапия, прогестины, фармакокинетика, максимальная концентрация, период полувыведения, гипофункция яичников

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания Института агробиотехнологий имени А. В. Журавского Коми научного центра УрО РАН (тема № FUUU-2023-0002) и проекта Межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования».

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Николаев С. В. Динамика концентрации прогестерона в крови крупного рогатого скота при применении препарата Прогестамаг®. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2025;26(6):1402–1410.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1402-1410>

Поступила: 23.02.2025

Принята к публикации: 13.11.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Dynamics of progesterone concentration in the blood of cattle after the use of Progestamag®

© 2025. Semyon V. Nikolaev✉

A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktывkar, Russian Federation

The aim of the research was to study the dynamics of progesterone concentration in the blood of heifers ($n = 10$) and lactating cows ($n = 10$) with signs of ovarian hypofunction after a single intramuscular injection of Progestamag® in a dosage of 10 ml. The experimental work was performed on animals of the Ayrshire breed. Ovarian hypofunction was determined by ultrasound sonography based on the absence of yellow bodies and large follicles. To determine the level of progesterone before administration of the drug and for 14 days after, venous blood was obtained from animals. The hormone concentration was determined by the enzyme immunoassay method. When calculating the pharmacokinetic parameters, the maximum concentration of the substance (C_{max}), the time of onset of maximum concentration (T_{max}), the half-life ($T_{1/2}$), as well as the elimination constant (K_{elim}) were determined. Based on the obtained data, dose-dependent changes in progesterone concentration were calculated using a linear method. It was found that after a single injection of the drug, there was a sharp increase in the level of the studied steroid. In heifers, T_{max} was observed on the second day, while C_{max} was 42.88 nmol/L, K_{elim} was 0.0083, and $T_{1/2}$

was 83.3 hours. A significantly high concentration of the hormone was observed for 9 days. The peak progesterone content in lactating cows also appeared after 48 hours, while the C_{max} was 24.96 nmol/L, K_{elim} was 0.0079, and $T_{1/2}$ was 88.1 hours. Dose-dependent calculations showed that for 7...10 day sexual stimulation regimens in cycling heifers, the therapeutic range was from 1 up to 4 ml, and in cows from 2 to 7 ml of the drug. For the treatment of gonadal hypofunction, a volume of 2 to 6 ml can be considered a reasonable dosage for heifers, and from 4 to 7 ml of the drug for lactating animals. Thus, Progestamag® has a moderately prolonged effect, however, a gradual decrease in the level of the steroid over a long period of time may hinder the achievement of the rebound effect.

Keywords: hormone therapy, progestins, pharmacokinetics, maximum concentration, half-life, ovarian hypofunction

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 A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. FUUU-2023-0002) and the project of the interregional world-class scientific and educational center "Russian Arctic: new materials, technologies and research methods".

The author thanks the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the author declares that there is no conflict of interest.

For citation: Nikolaev S. V. Dynamics of progesterone concentration in the blood of cattle after the use of Progestamag®. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2025;26(6):1402–1410. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1402-1410>

Received: 23.02.2025 Accepted for publication: 13.11.2025 Published online: 26.12.2025

Гормональные нарушения репродуктивной функции у крупного рогатого скота представляют одну из основных причин бесплодия и снижения эффективности производства [1, 2]. Лечение эндокринных расстройств репродуктивной системы включает использование гормональных препаратов [3, 4]. В животноводстве для улучшения воспроизводства стада в первую очередь применяются аналоги гонадолиберина, гонадотропинов и половых стероидов [5, 6].

Следует отметить разнообразие на рынке синтетических гормонов, представленных множеством аналогов, эффективность которых может значительно варьировать в зависимости от ряда факторов: видовой и породной принадлежности; интенсивности обмена веществ; уровня продуктивности; наличия сопутствующих заболеваний; массы тела и т. д. [7, 8]. Чтобы спрогнозировать терапевтический эффект препарата, перед его широким применением в практической деятельности необходимо изучить особенности абсорбции, биодоступности, распределения и клиренса, что требует проведения фармакокинетических исследований для каждого вида животных [9].

Для синхронизации и индукции репродуктивного цикла, а также терапии гонадных расстройств в ветеринарии активно используются прогестины – вещества, аффильно взаимодействующие с прогестероновым рецептором. Прогестерон является наиболее известным представителем этой группы [10, 11]. В современных условиях животноводства приоритет отдают препаратам с продолжительным терапевтическим действием, что минимизирует потребность в частых подходах к животному [12].

Цель исследований – изучить динамику концентрации прогестерона в крови телок и лактирующих коров с признаками дисфункции гонад после однократной внутримышечной инъекции препарата Прогестамаг®.

Научная новизна – получены данные о фармакокинетике препарата Прогестамаг® в организме самок айрширской породы с различным физиологическим статусом. Результаты исследований послужат теоретической основой для определения и дальнейшей практической оценки оптимальных дозировок препарата при коррекции репродуктивной функции у крупного рогатого скота.

Материал и методы. Экспериментальная работа выполнена в 2024 г. в Институте агробиотехнологий ФИЦ УрО РАН. Объектом исследований служили животные айрширской породы, принадлежащие ООО «Небдинский» Корткеросского района Республики Коми. Для исследований, по истечению одного-двух месяцев после родов, были отобраны лактирующие коровы 2-3-го отела ($n = 10$) массой 550–600 кг с суточным удоем 27–34 кг молока, а также телки ($n = 10$) массой 350–370 кг в возрасте 14–15 месяцев. У всех участвующих в экспериментальной работе животных была диагностирована гипофункция яичников. Постановку диагноза осуществляли путем двукратного ультразвукового исследования гонад с интервалом 6...7 дней по отсутствию желтых тел и крупных фолликулов (диаметром более 1 см). Для оценки состояния репродуктивного тракта использовали ультразвуковой сканер Easi-Scan 4 (BCF Technology, Великобритания) с линейным трансректальным датчиком на 128 кристаллов и регулируемой частотой от 4,5 до 8,5 МГц.

Всем животным однократно внутримышечно в область крупа инъецировали 10 мл суспензии препарата Прогестамаг®. Для оценки уровня прогестерона в вакуумные пробирки отбирали венозную кровь и отстаивали сыворотку. Биоматериал получали до введения и в течение 14 дней после инъекции препарата. Концентрацию прогестерона устанавливали иммуноферментативным методом на иммунохемилюминесцентном анализаторе MAGLUMI® 4000 Plus с использованием набора реагентов MAGLUMI® Progesterone CLIA (Китай).

При расчете фармакинетических показателей определяли: начальную концентрацию (C_0); концентрацию вещества через промежуток времени (C_t); максимальную (C_{max}) и минимальную (C_{min}) концентрации вещества; время наступления максимальной концентрации (T_{max}) и периода полувыведения ($T_{1/2}$) вещества; константу элиминации (K_{elim}).

K_{elim} рассчитывали по формуле:

$$K_{elim} = \frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_t}\right)}{t},$$

где t – временной интервал между исследованиями, ч; \ln – десятичный логарифм.

При этом использовали временной интервал, наиболее близкий к периоду полувыведения. $T_{1/2}$ препарата определяли по формуле:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{K_{elim}},$$

где 0,693 – коэффициент полувыведения (полураспада) вещества.

На основании полученных данных были рассчитаны дозозависимые изменения концентрации прогестерона. Вычисления проводили линейным методом, т. е. динамика содержания стероида в крови была прямо пропорциональна количеству введенного вещества. Цифровые показатели сравнивали с референсными значениями у данного вида, для чего использовали результаты исследований, представленные Л. Е. Козицким с соавт. (Л. Е. Kozicki et al.) [13].

Статистический анализ проводили путем вычисления средней арифметической и стандартной ошибки, достоверность различий сравниваемых величин установлена с применением t -критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение. Динамика уровня прогестерона после однократного применения препарата Прогестамаг® телкам айрширской породы показана в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Изменение концентрации прогестерона (нмоль/л) в крови телок (n = 10) после однократного введения препарата Прогестамаг® /

Table 1 – Changes in progesterone concentration (nmol/L) in the blood of heifers (n = 10) after a single injection of Progestamag®

День исследования / Day of the research	$M \pm m$	C_{min}	C_{max}
До введения / Before the introduction	2,24±0,26	1,92	2,90
1	38,57±1,10 ^{a***}	36,2	41,1
2	42,88±4,38 ^{a***}	40,2	52,2
3	37,53±4,36 ^{a***}	29,3	48,3
4	23,77±4,40 ^{a***}	14,4	34,4
5	23,27±2,08 ^{a***; b*}	18,7	30,3
6	19,30±4,27 ^{a**; b**}	13,2	28,0
7	13,94±3,20 ^{a**, b**}	9,5	22,2
8	12,31±2,02 ^{a***; b***}	7,5	14,1
9	6,83±1,87 ^{a*, b***}	3,8	11,6
10	7,77±2,90 ^{b***}	3,3	15,2
11	5,75±1,84 ^{b***}	3,2	10,5
12	4,96±1,72 ^{b***}	2,6	9,4
13	2,88±0,25 ^{b***}	2,4	3,5
14	2,67±0,09 ^{b***}	2,9	2,5

Примечания. Разница достоверна: * – при $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ по отношению ^a – к концентрации прогестерона до введения; ^b – к пиковой концентрации /

Note. The difference is significant: * – $P < 0.05$; ** – $P < 0.01$; *** – $P < 0.001$ in relation to ^a – the concentration of progesterone before administration; ^b – to the peak concentration

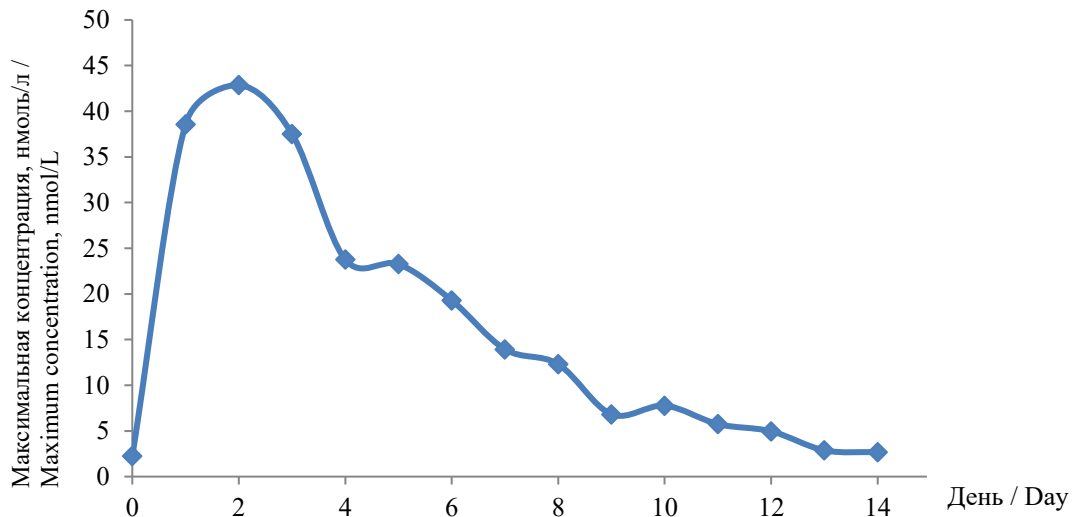


Рис. 1. График изменения концентрации уровня прогестерона после однократного введения препарата Прогестамаг® половозрелым телкам с гипофункцией яичников, нмоль/л /

Fig. 1. Graph of changes in the concentration of progesterone level after a single administration of Progestimag® to mature heifers with ovarian hypofunction, nmol/L

Анализ лабораторных данных показал (табл. 1, рис. 1), что у всех телок до применения препарата уровень стероида был ниже 3,0 нмоль/л, что указывает на отсутствие в гонадах лютеиновых структур. После однократного введения препарата экспериментальным животным, происходил резкий подъем концентрации прогестерона. Так, уже через 24 часа средний уровень стероида увеличивался более чем в 17 раз ($P \leq 0,001$), при этом пиковый показатель (T_{max}) был установлен на вторые сутки после инъекции (42,88 нмоль/л). Достоверно высокая концентрация гормона по отношению к значениям до введения суспензии прослеживалась в течение 9 дней, после чего не имела значимых отличий. Начиная с 5-го дня, количество прогестерона уменьшилось в 1,8 раза ($P \leq 0,05$) пиковой концентрации. Таким образом, если пренебречь концентрацией эндогенного гормона, при $T_{max} = 48$ ч, $C_{max} = 42,88$ нмоль/л и $C_t = 19,3$ нмоль/л, $t = 96$ ч, K_{elim} изучаемого препарата для телок составит 0,0083, а его $T_{1/2} = 83,3$ ч.

Стоит отметить, что в отдельных пробах через одинаковые временные интервалы наблюдали значительную вариацию уровня прогестерона, при этом расхождение индивидуальных показателей могло быть более чем в 2,9 раза. По всей видимости, это связано с особенностями физиологического состояния у отдельных животных и выбросом эндоген-

ного прогестерона на фоне активации фолликулогенеза. В среднем концентрация стероида, характерная для стадии уравнивания ($\geq 6,9$ нмоль/л), у телок айрширской породы после инъекции средства поддерживалась в течение 10 дней, а снижение гормона до уровня, свойственного для фолликулярной фазы ($\leq 2,9$ нмоль/л), происходило к 13-му дню.

Фармакокинетика прогестерона у коров с депрессией гонад после инъекции исследуемого препарата показана в таблице 2 и на рисунке 2.

Полученные данные по лактирующим животным (табл. 2, рис. 2) характеризовались схожей кинетикой гормона, установленного у телок. Так, уровень стероида также резко увеличивался через 24 часа после инъекции (в 14,7 раза; $P \leq 0,05$), а по истечении суток наступала пиковая концентрация (24,96 нмоль/л). При этом достоверно высокий уровень гормона по отношению к концентрации до инъекции просматривался вплоть до 14-ых суток. Значимое снижение содержания в сыворотке крови прогестерона по отношению к пиковому уровню происходило по истечении 4 дней от обработки ($P \leq 0,05$). Таким образом, если нивелировать эндогенный уровень гормона при $T_{max} = 48$ ч, $C_{max} = 24,96$ нмоль/л и $C_t = 11,73$ нмоль/л, $t = 72$ ч, K_{elim} изучаемого препарата у лактирующих коров составила 0,0079, а период его полувыведения 88,1 ч.

Таблица 2 – Изменение концентрации прогестерона (нмоль/л) в крови у лактирующих коров (n = 10) после однократного введения препарата Прогестамаг® /
Table 2 – Changes in progesterone concentration (nmol/L) in the blood of lactating cows (n = 10) after a single injection of Progestamag®

День исследования / Days of the research	$M \pm m$	$C_{min.}$	C_{max}
До введения / Before the introduction	1,15±0,22	0,8	1,4
1	16,94±4,78 ^{a*} ; ^{b*}	9,7	24,5
2	24,96±4,98 ^{a***}	17,1	30,8
3	18,88±4,66 ^{a**}	11,5	24,3
4	13,97±3,71 ^{a**} ; ^{b*}	9,1	19,8
5	11,73±4,26 ^{a*} ; ^{b*}	5,0	16,5
6	9,89±3,38 ^{a*} ; ^{b**}	4,5	15,2
7	9,82±3,46 ^{a*} ; ^{b**}	4,4	14,3
8	6,58±1,43 ^{a**} ; ^{b**}	4,3	7,8
9	4,62±0,31 ^{a***} ; ^{b**}	4,1	6,4
10	4,59±0,33 ^{a***} ; ^{b**}	4,1	4,8
11	3,46±0,11 ^{a***} ; ^{b**}	3,3	3,9
12	3,44±0,22 ^{a***} ; ^{b**}	3,1	3,8
13	2,85±0,09 ^{a***} ; ^{b**}	2,7	3,3
14	2,41±0,06 ^{a***} ; ^{b**}	2,3	2,7

Примечания. Разница достоверна: * – при $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ по отношению ^a к концентрации прогестерона после введения; ^b к пиковой концентрации /

Notes. The difference is significant: * – $P < 0.05$; ** – $P < 0.01$; *** – $P < 0.001$ in relation to ^a the concentration of progesterone before administration; ^b to the peak concentration

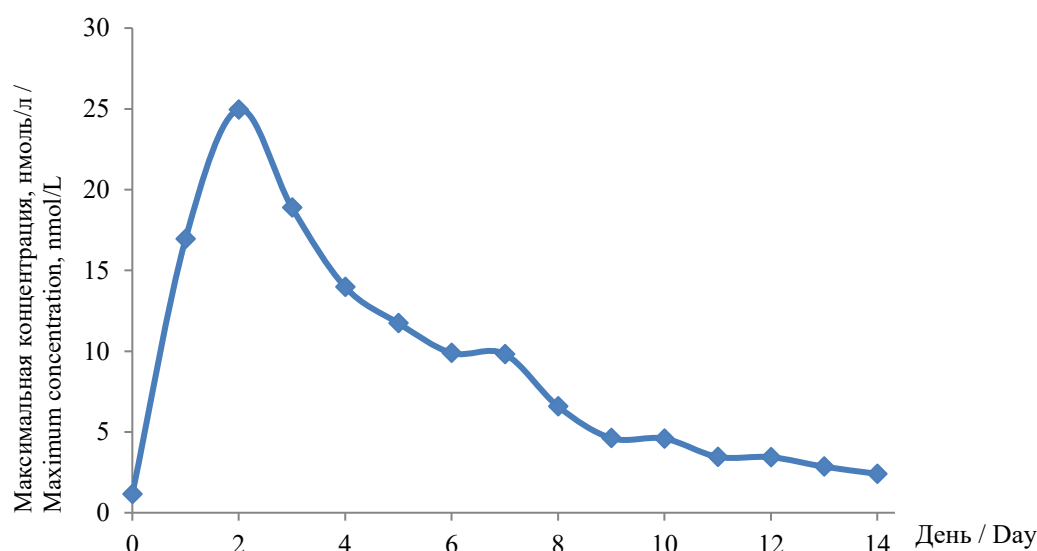


Рис. 2. График изменения концентрации уровня прогестерона после однократного введения препарата Прогестамаг® коровам с глубокой депрессией гонад, нмоль/л /

Fig. 2. Graph of changes in the concentration of progesterone level after a single administration of Progestamag® to cows with severe gonadal depression, nmol/L

У коров, как и у телок, наблюдали широкую вариабельность показателей между индивидуумами, при этом разница могла составлять более чем 3,4 раза. В отличие от телок, у коров пиковая концентрация была значительно ниже (в 1,7 раза; $P \leq 0,05$), что скорее всего обусловлено большей массой тела, а также интенсивной экскрецией и элиминацией гормона на фоне лактации. Стоит отметить, что у коров между 6-м и 7-м днями после инъекции суспензии наблюдали замедление элиминации стероида (рис. 2), аналогичная картина отмечена у телок между 4-м и 5-м днями (рис. 1). По-видимому, данное явление обусловлено повышением уровня гормона эндогенного происхождения на фоне активации в яичниках фолликуло- и стероидогенеза. В целом уровень стероида, характерный для стадии уравнивания, у коров поддер-

живался на протяжении 7 дней, а его концентрация, свойственная для фолликулярной фазы, как и у телок, наступала на 13-е сутки после инъекции препарата.

На основании полученных данных были рассчитаны линейные математические модели изменения концентрации прогестерона в крови коров и телок в зависимости от инъекцируемой дозы препарата Прогестамаг®.

Анализ расчетных данных свидетельствует (табл. 3), что при использовании 7–10-дневных схем стимуляции половой функции (Co-Synch, Ovsynch и т. д.) у циклирующих телок терапевтический диапазон введения препарата составит в пределах от 1 до 4 мл. Для лечения гипофункции гонад обоснованной дозировкой можно считать от 2 до 6 мл препарата по схеме: 0 день – инъекция исследуемого средства, 7-е сутки – введение гонадотропина.

Таблица 3 – Математическая модель изменения концентрации прогестерона (нмоль/мл) в крови у телок после однократного введения различных доз препарата Прогестамаг® / Table 3 – Mathematical model of the change in progesterone concentration (nmol/ml) in the blood of heifers after a single administration of various doses of Progestimag®

День после инъекции / Day after injection	Доза введения, мл / Dose of administration, ml									
	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0
1	38,6	34,7	30,9	27,0	23,1	19,3	15,4	11,6	7,7	3,9
2	42,9	38,6	34,3	30,0	25,7	21,4	17,2	12,9	8,6	4,3
3	37,5	33,8	30,0	26,3	22,5	18,8	15,0	11,3	7,5	3,8
4	23,8	21,4	19,0	16,6	14,3	11,9	9,5	7,1	4,8	2,4
5	23,3	20,9	18,6	16,3	14,0	11,6	9,3	7,0	4,7	2,3
6	19,3	17,4	15,4	13,5	11,6	9,7	7,7	5,8	3,9	1,9
7	13,9	12,5	11,2	9,8	8,4	7,0	5,6	4,2	2,8	1,4
8	12,3	11,1	9,8	8,6	7,4	6,2	4,9	3,7	2,5	1,2
9	7,8	7,0	6,2	5,4	4,7	3,9	3,1	2,3	1,6	0,8
10	6,8	6,1	5,5	4,8	4,1	3,4	2,7	2,0	1,4	0,7
11	5,8	5,2	4,6	4,0	3,5	2,9	2,3	1,7	1,2	0,6
12	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5
13	2,9	2,6	2,3	2,0	1,7	1,4	1,2	0,9	0,6	0,3
14	2,7	2,4	2,1	1,9	1,6	1,3	1,1	0,8	0,5	0,3

Цифровые данные, рассчитанные для лактирующих животных (табл. 4), свидетельствуют, что в схемах синхронизации опти-

мальная дозировка препарата будет находится в диапазоне от 2 до 7 мл, а для терапии гипофункции гонад – от 4 до 7 мл.

Таблица 4 – Математическая модель изменения концентрации прогестерона (нмоль/мл) в крови у коров после однократного введения различных доз препарата Прогестамаг® /

Table 4 – Mathematical model of the change in progesterone concentration (nmol/ml) in the blood of cows after a single administration of various doses of Progestamag®

День после инъекции / Days after injection	Доза введения, мл / Dose of administration, ml									
	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0
1	16,9	15,2	13,6	11,9	10,2	8,5	6,8	5,1	3,4	1,7
2	25,0	22,5	20,0	17,5	15,0	12,5	10,0	7,5	5,0	2,5
3	18,9	17,0	15,1	13,2	11,3	9,4	7,6	5,7	3,8	1,9
4	14,0	12,6	11,2	9,8	8,4	7,0	5,6	4,2	2,8	1,4
5	11,7	10,6	9,4	8,2	7,0	5,9	4,7	3,5	2,3	1,2
6	9,9	8,9	7,9	6,9	5,9	4,9	4,0	3,0	2,0	1,0
7	9,8	8,8	7,9	6,9	5,9	4,9	3,9	2,9	2,0	1,0
8	6,6	5,9	5,3	4,6	3,9	3,3	2,6	2,0	1,3	0,7
9	4,6	4,2	3,7	3,2	2,8	2,3	1,8	1,4	0,9	0,5
10	4,1	3,7	3,3	2,9	2,5	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4
11	3,5	3,1	2,8	2,4	2,1	1,7	1,4	1,0	0,7	0,3
12	3,4	3,1	2,8	2,4	2,1	1,7	1,4	1,0	0,7	0,3
13	2,7	2,4	2,2	1,9	1,6	1,4	1,1	0,8	0,5	0,3
14	2,4	2,2	1,9	1,7	1,4	1,2	1,0	0,7	0,5	0,2

Заключение. Исследования показали, что препарат Прогестамаг® обладает умеренно пролонгированным периодом полувыведения (83,3...88,1 часа), что позволяет сократить кратность инъекций. При этом концентрация прогестерона в крови животных может значительно различаться, что вероятно связано с индивидуальными особенностями организма. К недостаткам данного препарата можно отнести постепенное снижение уровня стероида в течение длительного времени по истечении

периода полувыведения. Это свойство исследуемого средства может препятствовать достижению ребаунд-эффекта, необходимого для активизации фолликулогенеза при лечении гипофункции яичников. Теоретически обоснованная доза препарата Прогестамаг®, которая может быть рекомендована для стимуляции и синхронизации половой функции у айрширского скота: для телок – от 1 до 6 мл, для коров – от 2 до 7 мл.

Список литературы

1. Ширяев Г. В., Ларкина Т. А., Никитин Г. С., Притужалова А. О., Ширяева Н. А., Курочкин А. А., Рыбаков М. А., Якимов Ф. Д. Динамика концентрации кистспептина, эстрадиола и прогестерона у высокопродуктивных коров в период глубокой стельности и после отела в связи с нарушениями в энергообмене. Молочное и мясное скотоводство. 2024;(2):17–20. DOI: <https://doi.org/10.33943/MMS.2024.74.32.004> EDN: OXNVTS
2. Михалёв В. И., Бутко В. А., Моргунова В. И., Чусова Г. Г. Морфо-биохимические показатели крови коров при различном характере течения беременности и уровне молочной продуктивности. Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2018;(3):91–95. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35630769> EDN: XZTXXN
3. Семиволос А. М., Семиволос С. А., Володина М. А., Агольцов В. А., Падило Л. П. Препарат галапан при гипофункции яичников у коров. Аграрный научный журнал. 2023;(11):161–164. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i11pp161-164> EDN: UTGZWA
4. Нежданов А. Г., Митина А. О., Синёва А. М., Дюльгер Г. П., Седлецкая Е. С., Лободин К. А., Лукина В. А. Послеродовая гипофункция яичников у молочных коров и гормональные методы их терапии. Ветеринария. 2018;(7):39–45. DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2018.21.7.39-45> EDN: UTSSFE

5. Симонов П. Г., Алиев А. Ю., Федотов С. В., Фуад С. Совершенствование синхронизации половых циклов у коров в условиях интенсивного производства. *Ветеринария Кубани*. 2024;(4):20–22. DOI: <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2024-4-20-22> EDN: RPLFRM
6. Никитин В. В., Племяшов К. В., Корочкина Е. А. Диаметр овуляторного фолликула, индуцированного экзогенным ГнРГ, как предиктор репродуктивного статуса высокопродуктивных коров. *Ветеринария*. 2024;(5):32–35. DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2024.27.5.32-35> EDN: GDVMCM
7. Нежданов А. Г., Михалев В. И., Скориков В. Н., Панфилова А. О. Эффективность гормональной коррекции воспроизводительной способности коров при гипофункции яичников. *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. 2014;(3):124–127. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22149093> EDN: SQRXHX
8. Седлецкая Е. С., Дюльгер Г. П. Клиническая и ультразвуковая оценка терапевтической эффективности овулина при фолликулярных кистах яичников у коров. *Ветеринария сельскохозяйственных животных*. 2011;(1):9–22.
9. Николаев С. В. Фармакокинетика 17-гидроксипрогестерона капроата в организме лактирующих коров. *Ветеринария*. 2022;(5):54–58. DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2022.25.5.54-57> EDN: UTVOVA
10. Торшин И. Ю., Громова О. А., Рудаков К. В. Средство дидрогестерона и других прогестинов к эстрогеновым, прогестероновым и другим типам стероидных рецепторов. *Гинекология*. 2011;13(1):23–28. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16284593> EDN: NSJGIZ
11. Николаев С. В. Определение селективных модуляторов прогестеронового рецептора в плазме крови методом ВЭЖХ-МС/МС. *Международный вестник ветеринарии*. 2022;(2):140–147. DOI: <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.2.140> EDN: RLBFRM
12. Минин А. В., Филатов А. В. Утеротоническая активность препарата Рутотин при применении высокопродуктивным свиноматкам в послеродовой период. *Ветеринария*. 2023;(9):42–45. DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.9.42-45> EDN: BPWXTK
13. Kozicki L. E., Weber H. S., Bacher H. L., Ramos I. S., Gaievski F. R., Schaus M. V. et al. Determination of progesterone concentration during the estrous cycle in dairy cows using a chemiluminescence assay. *Revista Academica de Ciencia Animal*. 2018;16:e16006. DOI: <https://doi.org/10.7213/1981-4178.2018.16006>

References

1. Shiryaev G. V., Larkina T. A., Nikitin G. S., Prituzhalova A. O., Shiryaeva N. A., Kurochkin A. A., Ribakov M. A., Yakimov F. D. Dynamics of kisspeptin, estradiol and progesterone concentrations in highly productive cows during the precalent period and after calving due to disorders in energy metabolism. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*. 2024;(2):17–20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33943/MMS.2024.74.32.004>
2. Mikhalyov V. I., Butko V. A., Morgunova V. I., Chusova G. G. Morpho-biochemical indicators of blood of cows at different nature of the gestation course and the level of milk productivity. *Voprosi normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii*. 2018;(3):91–95. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35630769>
3. Semivolos A. M., Semivolos S. A., Volodina M. A., Agoltsov V. A., Padilo L. P. Eke preparation galapan for ovarian hypofunction in cows. *Agrarny nauchny zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*. 2023;(11):161–164. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i11pp161-164>
4. Nezhdanov A. G., Mitina A. O., Sinyova A. M., Dyulger G. P., Sedletskaia E. S., Lobodin K. A., Lukina V. A. Postpartum hypofunction of the ovaries in dairy cows and hormonal methods of their therapy. *Veterinariya = Veterinary*. 2018;(7):39–45. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2018.21.7.39-45>
5. Simonov P. G., Aliiev A. Yu., Fedotov S. V., Fuad S. Improvement of sexual cycles synchronization in cows in conditions of intensive production. *Veterinariya Kubani*. 2024;(4):20–22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2024-4-20-22>
6. Nikitin V. V., Plemyashov K. V., Korochkina E. A. Diametr of ovulatory follicle induced by exogenous GnRH as a predictor of thigh-productive cows' reproductive status. *Veterinariya = Veterinary*. 2024;(5):32–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2024.27.5.32-35>
7. Nezhdanov A. G., Mikhalev V. I., Skorikov V. N., Panfilova A. O. Effectiveness of hormonal correction of reproductive capacity in cows with ovarian hypofunction. *Voprosi normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii*. 2014;(3):124–127. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22149093>
8. Sedletskaia E. S., Dyulger G. P. Clinical and ultrasound evaluation of the therapeutic efficacy of ovulin in follicular ovarian cysts in cows. *Veterinariya selskokhozyaystvennikh zhivotnikh*. 2011;(1):9–22. (In Russ.).
9. Nikolaev S. V. Pharmacokinetics of 17-hydroxyprogesterone caproate in the body of lactating cows. *Veterinariya = Veterinary*. 2022;(5):54–58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2022.25.5.54-57>

10. Torshin I. Yu., Gromova O. A., Rudakov K. V. Affinity of didrogesterone and other progestins to estrogen, progesterone, and other types of steroid receptors. *Ginekologiya* = Gynecology. 2011;13(1):23–28. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16284593>

11. Nikolaev S. V. Determination of the concentration of selective progesterone receptor modulators in blood plasma BY LC–MS/MS. *Mezhdunarodny vestnik veterinarii* = International Journal of Veterinary Medicine. 2022;(2):140–147. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.2.140>

12. Minin A. V., Filatov A. V. Uterotonic activity of Rutocin in the postpartum period in highly productive sows. *Veterinariya* = Veterinary. 2023;(9):42–45. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.9.42-45>

13. Kozicki L. E., Weber H. S., Bacher H. L., Ramos I. S., Gaievski F. R., Schaus M. V. et al. Determination of progesterone concentration during the estrous cycle in dairy cows using a chemiluminescence assay. *Revista Academica de Ciencia Animal*. 2018;16:e16006. DOI: <https://doi.org/10.7213/1981-4178.2018.16006>

Сведения об авторе


Николаев Семен Викторович, кандидат вет. наук, ведущий научный сотрудник отдела «Печорская опытная станция», Институт агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Республика Коми, 167023, e-mail: nipti@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5485-4616>, e-mail: semen.nikolaev.90@mail.ru

Information about the author

Semyon V. Nikolaev, PhD in Veterinary Science, leading researcher, the Department "Pechora Experimental Station", A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 27, Rucheynaya str., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167023, e-mail: nipti@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5485-4616>, e-mail: semen.nikolaev.90@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Оценка антимикробной активности средств для обработки вымени у коров по отношению к микроорганизмам – возбудителям мастита

© 2025. М. Н. Исакова , Я. Ю. Лысова, О. В. Соколова, А. С. Красноперов, В. Д. Зубарева

ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург, Российская Федерация

*В связи с развитием антибиотикорезистентности в животноводстве и снижением эффективности имеющихся схем лечения воспалительных заболеваний молочной железы у коров актуальной задачей является осуществление более действенных мер профилактики. Цель исследований – изучить эффективность 10 средств с разными действующими веществами (хлоргексидин, йод, молочная кислота) для обработки сосков молочной железы после доения. В работе использовали клинический, микробиологический, вискозиметрический методы исследования, метод диффузии в агаре. Экспериментальные исследования осуществляли на базе сельскохозяйственных организаций Свердловской области с разным типом содержания и доения коров. Для исследований было отобрано 21 животное. При обследовании коров с отсутствием клинических признаков мастита установлено, что 47,6 % животных имели субклиническую форму мастита. Все пробы секрета молочной железы коров были контаминированы следующими микроорганизмами: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* (непатогенный тип), *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, *Enterobacter spp.*, *Streptococcus spp.*, *Mucor*. Из смывов, взятых с кожи сосков молочной железы коров, выделили 55 изолятов микроорганизмов, среди которых основными этиологически значимыми агентами в развитии воспалительных процессов являлись: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* (непатогенный тип), *Enterococcus faecium*, *Enterobacter spp.*, *Proteus spp.* Исследованиями установили, что изоляты *Staphylococcus aureus* в 53,3 и 46,7 % проявляли резистентность к средствам для обработки сосков вымени после доения на основе йода и молочной кислоты соответственно, минимальное количество изолятов (40,0 %) устойчиво к средствам, где в качестве действующего вещества используется хлоргексидин. Эффективность средств на основе хлоргексидина против изолятов *Enterococcus faecium*, *Escherichia coli* (непатогенный тип), *Proteus spp.*, *Enterobacter spp.* составила 62,5–87,5 %. Таким образом, наши исследования показали, что средства на основе хлоргексидина являются наиболее эффективными для обработки сосков вымени коров после доения как одного из этапов профилактических мероприятий мастита.*

Ключевые слова: молочная железа, воспаление, действующее вещество, йод, молочная кислота, хлоргексидин

Благодарность: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (№ 0532-2021-0009).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Исакова М. Н., Лысова Я. Ю., Соколова О. В., Красноперов А. С., Зубарева В. Д. Оценка антимикробной активности средств для обработки вымени у коров по отношению к микроорганизмам – возбудителям мастита. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1411–1421. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1411-1421>

Поступила: 14.04.2025

Принята к публикации: 04.12.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Evaluation of the antimicrobial activity of udder treatment products for cows against microorganisms causing mastitis

© 2025. Maria N. Isakova , Yana Yu. Lysova, Olga V. Sokolova, Alexander S. Krasnoperov, Vladlena D. Zubareva

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

In connection with the development of antibiotic resistance in animal husbandry and the decrease in the effectiveness of existing treatment regimens for inflammatory diseases of the mammary gland in cows, the implementation of more effective preventive measures is an urgent task. The aim of the research was to study the effectiveness of 10 agents with different active ingredients (chlorhexidine, iodine, lactic acid) for udder teats treatment after milking. The work used clinical, microbiological, viscosimetric research methods, the agar diffusion method. Experimental studies were carried out on the basis of agricultural organizations of the Sverdlovsk region with different types of keeping and milking cows. For further studies 21 animals were selected. When examining cows with no clinical signs of mastitis, it was found that 47.6 % of animals had a subclinical form of

mastitis. All samples of cow mammary gland secretion were contaminated with the following microorganisms: Staphylococcus aureus, Escherichia coli (non-pathogenic type), Enterococcus faecalis, Enterococcus faecium, Enterobacter spp., Streptococcus spp., Mucor. From the washes taken from the skin of the cow mammary gland teats, 55 isolates of microorganisms were isolated, among which the main etiologically significant agents in the development of inflammatory processes were: Staphylococcus aureus, Escherichia coli (non-pathogenic type), Enterococcus faecium, Enterobacter spp., Proteus spp. The studies have established that Staphylococcus aureus isolates were resistant to iodine- and lactic acid-based teat treatment agents after milking in 53.3 % and 46.7 % of cases, respectively; the minimum number of isolates (40.0 %) were resistant to agents that used chlorhexidine as the active ingredient. The effectiveness of chlorhexidine-based agents against Enterococcus faecium, Escherichia coli (non-pathogenic type), Proteus spp., Enterobacter spp. isolates was 62.5–87.5 %. Thus, the research has shown that chlorhexidine-based agents are the most effective for use in treating udder teats after milking as one of the stages of mastitis prevention.

Keywords: *mammary gland, inflammation, active substance, iodine, lactic acid, chlorhexidine*

Acknowledgements: the work was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme № 0532-2021-0009).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

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

For citation: Isakova M. N., Lysova Ya. Yu., Sokolova O. V., Krasnoperov A. S., Zubareva V. D. Evaluation of the antimicrobial activity of udder treatment products for cows against microorganisms causing mastitis. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2025;26(6):1411–1421. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1411-1421>

Received: 14.04.2025

Accepted for publication: 04.12.2025

Published online: 26.12.2025

Мастит у коров является экономически значимым заболеванием в молочной промышленности [1, 2, 3, 4]. Современные методы лечения воспалительных процессов в молочной железе основаны на использовании антибиотиков широкого спектра действия [5, 6, 7]. Проблемы, связанные с развитием антибиотикорезистентности [8, 9, 10, 11] и увеличением случаев неэффективности существующих схем лечения мастита антибактериальными препаратами [12, 13, 14], требуют в первую очередь разработки новых подходов в профилактике данного заболевания. Одним из этапов в борьбе с маститом у коров является проведение обработки сосков молочной железы после доения путем применения специальных средств, что способствует снижению проникновения возбудителей из внешней среды в открытый сосковый канал [15, 16, 17]. Использование таких манипуляций в практике молочного животноводства позволяет усилить профилактические мероприятия в борьбе с маститом у коров [18, 19, 20]. В настоящее время на рынке имеется большое количество отечественных и зарубежных средств для обработки сосков молочной железы коров после доения [21]. Главное отличие которых заключается в используемом действующем веществе: йод, хлоргексидин, надуксусная кислота, молочная кислота, пероксид водорода, кислоты жирного ряда, диоксид хлора, низин и другие. Представленные средства могут иметь разную эффективность в первую очередь в зависимости от микроорганизмов, цирку-

лирующих в конкретной сельскохозяйственной организации.

Цель исследований – изучить эффективность средств на основе разных действующих веществ, используемых для обработки сосков молочной железы после доения, в профилактике мастита у коров на территории Свердловской области.

Были поставлены следующие задачи: обследовать животных на субклиническую форму мастита; определить количество соматических клеток в секрете вымени; провести бактериологические исследования секрета молочной железы и смывов с кожи сосков вымени коров; изучить чувствительность микроорганизмов, выделенных из проб смывов с кожи вымени коров, к средствам для обработки сосков после доения.

Научная новизна – углубление, детализация и дополнение ранее известных в теории и практике исследований, которые отражают изучение данных антимикробной активности средств для обработки молочной железы коров после доения к микроорганизмам, способным вызывать воспалительные процессы в вымени.

Материал и методы. Работу проводили в течение 2024 года в отделе репродуктивной биологии и неонатологии, лаборатории микробиологических и молекулярно-генетических методов исследования Уральского научно-исследовательского ветеринарного института – структурного подразделения ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук».

Экспериментальные исследования осуществляли на базе трех сельскохозяйственных организаций Свердловской области с разным типом содержания и доения коров: 1 – привязная система содержания и стационарный тип доения на линейной установке с использованием доильного аппарата АДМ-8 (Россия); 2 – беспривязная система содержания, технология доения в специальном доильном зале с применением оборудования фирмы GEA и доильной установки «Елочка» (Германия); 3 – беспривязная система содержания, технология доения в специальном доильном зале с применением оборудования фирмы DeLaval и доильной установки «Карусель» (Швеция).

В процессе доения в каждой сельскохозяйственной организации отбирали по семь коров с отсутствием клинических признаков мастита, которые находились в середине 2-3-й лактации, всего в исследовании было задействовано 21 животное. Далее проводили диагностику субклинической формы мастита с помощью экспресс-теста «Кенотест» (CID LINES, Бельгия). Из каждой доли вымени на молочноконтрольную пластинку сдаивали секрет молочной железы до линии указателя уровня, затем добавляли 2 мл реагента. Легкими круговыми движениями пластинки перемешивали реагент с молоком. Реакцию учитывали в течение 15-20 секунд, интерпретацию осуществляли по образованию желеобразного сгустка и изменению цвета смеси. Мастит от физиологического раздражения вымени дифференцировали на основании данных анамнеза животного (исключали посттравматические, химические и медикаментозные факторы), также учитывали данные проведенного анализа нарушений в условиях содержания и технологии доения, которые могут выступать фактором симптомов раздражения молочной железы у коров. Диагностику на субклинический мастит проводили двукратно с интервалом 2-3 дня, результаты повторного исследования совпадали с первоначальным.

От животных были взяты пробы секрета молочной железы для микробиологического исследования и определения количества соматических клеток. Перед отбором проб секрета вымени коров контейнеры для взятия промаркировали (дата, номер коровы). До взятия

биоматериала загрязненное вымя и соски тщательно мыли и высушивали одноразовыми полотенцами. Далее проводили сдаивание в контрольную кружку первых струек молока со всех сосков. После чего надевали одноразовые перчатки, производили обработку сосков тампоном, смоченным 70%-ным спиртом, затем 3–5 мл альвеолярного молока надаивали в контейнеры, при этом отслеживали, чтобы сосок не касался контейнера. Отобранный материал вертикально помещали в изотермическую сумку с аккумуляторами холода (+2...+8 °С) и в течение не более 6 ч доставляли в лабораторию.

Микробиологические исследования проводили в соответствии с методическими рекомендациями¹. Из проб делали посевы на жидкие и плотные агаризованные питательные среды: Эндо, Сабуро, Чапека, Левина, Плоскирева, №10, мясопептонный бульон (МПБ), бульон для выделения стрептококков, Энтерококкагар, Висмут-сульфит агар, Цетримидный агар (ФБУН Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии, Россия). Идентификацию выделенных изолятов проводили путем пересева на среды Гисса с сахарами, руководствовались определителями бактерий Берджи и патогенных и условно-патогенных грибов. Для дифференциации выделенных микроорганизмов применяли дифференциально-диагностические тест-системы (ООО «НПО «Диагностические системы», Россия). Количество соматических клеток определяли на вискозиметрическом анализаторе молока «Соматос-Мини» (Костип, Россия) с применением препарата «Мастоприм».

Затем отбирали смывы с кожи сосков вымени коров с целью определения микрофлоры и изучения чувствительности к 10 средствам для обработки сосков вымени после доения нескольких производителей (Ижсинтез-Химпром, Россия; ДЭЙРИ ДОКТОР, Россия; ЕФАРТ-БЕЛ, Республика Беларусь), с наиболее часто используемыми действующими веществами хлоргексидин (n = 4), йод (n = 3), молочная кислота (n = 3). Смывы отбирали с боковой поверхности кожи сосков и области сфинктера с помощью зондов-тампонов с транспортной средой.

¹Методы бактериологического исследования условно-патогенных микроорганизмов в клинической микробиологии: методические рекомендации. Сост. А. Н. Калюк. М.: Московский научно-исследовательский институт туберкулеза Минздрава РФ, 1991. 36 с.

Устойчивость выделенных изолятов изучали стандартным методом диффузии в агаре на чашках с агаром Мюллера-Хинтона в соответствии с рекомендациями².

Результаты и их обсуждение. При обследовании животных с отсутствием клинических признаков мастита с помощью диагностического экспресс-теста «Кенотест» установили, что 47,6 % животных имеют скрыто протекающее воспаление в молочной железе. При этом

количество пораженных субклиническим маститом долей составило 19,0 %. Наибольшее количество скрытого мастита у животных (71,4 %) регистрировали при привязной системе содержания и стационарном типе доения на линейной установке. Наименьший уровень субклинического мастита (28,6 %) установили у коров, содержащихся на беспривязной системе с использованием технологии доения на доильной установке «Елочка» (табл. 1).

Таблица 1 – Заболеваемость коров субклиническим маститом (n = 21) / Table 1 – Incidence of subclinical mastitis in cows (n = 21)

Технология содержания и доения коров / Technology of keeping and milking cows	Количество исследований / Number of studies		Субклинический мастит / Subclinical mastitis			
	коров / cows	долей / lobes	коров / cows	%	долей / lobes	%
1	7,0	28,0	5,0	71,4	8,0	28,6
2	7,0	28,0	2,0	28,6	3,0	10,7
3	7,0	28,0	3,0	42,9	5,0	17,9
-	21,0	84,0	10,0	47,6	16,0	19,0

Примечания: здесь и далее 1 – привязная система содержания, стационарный тип доения на линейной установке с использованием доильного аппарата АДМ-8; 2 – беспривязная система содержания и использование технологии доения в специальном доильном зале с применением оборудования фирмы GEA и доильной установки «Елочка»; 3 – беспривязная система содержания и использование технологии доения в специальном доильном зале с применением оборудования фирмы DeLaval и доильной установки «Карусель» /

Notes: here and further 1 – tethered housing system, stationary type of milking on a linear installation using the ADM-8 milking machine; 2 – loose housing and the use of milking technology in a special milking parlor using GEA equipment and the “Elochka” milking machine; 3 – loose housing and the use of milking technology in a special milking parlor using DeLaval equipment and the “Karusel” milking machine

У коров, содержащихся на привязной системе с использованием стационарного типа доения на линейной установке, среднее значение количества соматических клеток в секрете молочной железы, составило $492,4 \pm 94,9$ тыс./мл, при этом максимальное количество животных (42,9 %) имело диапазон соматических клеток в молоке от 401 до 750 тыс./мл. В сельскохозяйственной организации, где используется беспривязная система содержания и технология доения в специальном доильном зале с применением доильной установки «Елочка», количество соматических клеток в молоке имело наиболее низкий уровень, который в среднем составил $298,7 \pm 63,6$ тыс./мл, диапазон соматических клеток в секрете вымени до 250 тыс./мл

регистрировали у 57,2 % коров. Среднее значение количества соматических клеток в молоке животных, доение которых осуществляется в специальном доильном зале с применением доильной установки «Карусель», составило $400,9 \pm 77,5$ тыс./мл, при этом 42,9 % коров имели повышенное содержание соматических клеток в интервале от 401 до 750 тыс./мл (рис. 1).

При проведении микробиологического исследования установили, что во всех пробах секрета молочной железы коров (n = 21) была выделена патогенная и условно-патогенная микрофлора, представленная следующими видами микроорганизмов: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* (непатогенный тип), *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, *Enterobacter spp.*, *Streptococcus spp.*, *Mucor*.

²МУК 4.2.1890-04 «Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам». Утв. Гл. гос.м санитарным врачом РФ Г. Г. Онищенко 4.03.2004г

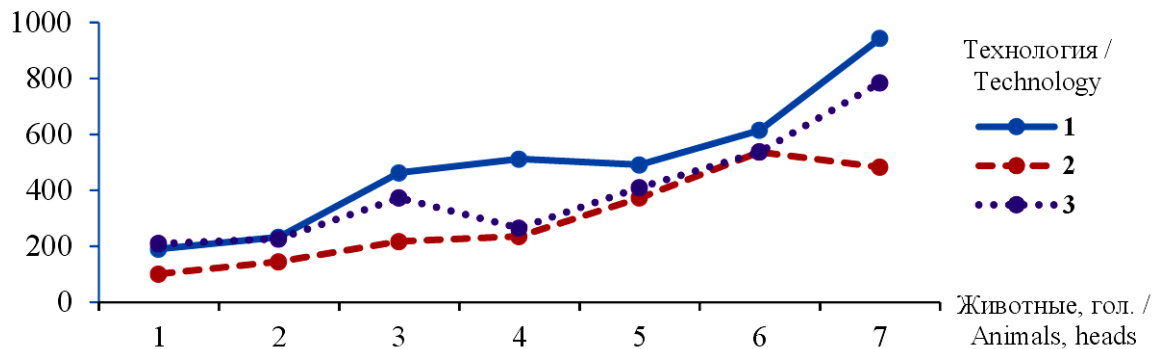


Рис. 1. Содержание соматических клеток в секрете молочной железы коров при разных технологиях содержания и доения, тыс./мл /

Fig. 1. The content of somatic cells in the secretion of the mammary gland of cows with different technologies of maintenance and milking, thousand /ml

Контаминация молочной железы патогенной и/или условно-патогенной микрофлорой у коров с отсутствием на момент исследования воспалительных процессов говорит о том, что данные животные являются постоянным источником распространения возбудителей мастита в стаде и при наличии таких предрасполагающих факторов, как нарушение технологии машинного доения и санитарно-гигиенических условий содержания, неполноценное и некачественное кормление, нарушение иммунного статуса, стресс, у данных животных могут проявляться признаки клинической или субклинической форм мастита.

В сельскохозяйственной организации с использованием стационарного типа доения коров на линейной установке выделенную микрофлору из секрета вымени животных установили как в монокультуре (42,9 %), так и в виде ассоциаций культур бактерий (57,2 %). В монокультуре микрофлора была представлена *Staphylococcus aureus*. Структура ассоциаций культур бактерий имела следующий вид: *Staphylococcus aureus* + *Enterococcus faecium* (28,6 %), *Staphylococcus aureus* + *Enterobacter spp.* (28,6 %). При доении коров в специальном зале с применением доильной установки «Елочка» из проб молока коров в 28,6 % выделяли *Escherichia coli* (непатогенный тип). Все выделенные из секрета молочной железы ассоциации микроорганизмов имели неповторяющиеся между собой видовые сочетания: *Staphylococcus aureus* + *Streptococcus spp.*, *Enterococcus faecium* + *Staphylococcus aureus* + *Escherichia coli* (непатогенный тип), *Enterococcus faecalis* + *Staphylococcus aureus* + *Escherichia coli* (непатогенный тип),

Enterococcus faecalis + *Staphylococcus aureus* + *Escherichia coli* (непатогенный тип) + *Streptococcus spp.*, *Staphylococcus aureus* + *Escherichia coli* (непатогенный тип) + *Streptococcus spp.*. Из проб секрета вымени коров, процесс доения которых осуществлялся в специальном зале с применением доильной установки «Карусель», в монокультуре выделяли: *Staphylococcus aureus* (28,6 %) и *Escherichia coli* (непатогенный тип) (14,3 %). В структуре ассоциаций культур бактерий и грибов по 14,3 % приходилось на *Staphylococcus aureus* + *Mucor* и *Staphylococcus aureus* + *Escherichia coli* (непатогенный тип) + *Enterococcus faecium* + *Enterobacter spp.* + *Mucor*. Ассоциация, представленная сочетанием микроорганизмов *Staphylococcus aureus* + *Escherichia coli* (непатогенный тип) + *Enterococcus faecium*, выявлена в 28,6 % исследуемых проб (табл. 2).

Проведенные микробиологические исследования показали, что из 21 смыва, взятого с кожи сосков молочной железы коров, выделили 55 изолятов микроорганизмов, среди них *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* (непатогенный тип), *Enterococcus faecium*, *Enterobacter spp.*, *Proteus spp.* (рис. 2).

В организациях, где применяется беспривязная система содержания и используется технология доения в специальном доильном зале, популяции микроорганизмов, выделенные с кожи сосков молочной железы коров представлены в монокультуре и ассоциациях микроорганизмов. При привязной системе содержания и стационарном типе доения на линейной установке с кожи сосков вымени животных выделяли ассоциации микроорганизмов (табл. 3).

Таблица 2 – Структура популяции микроорганизмов, выделенных из секрета молочной железы коров при разных технологиях содержания и доения (n = 21) /

Table 2 – Population structure of microorganisms isolated from the mammary gland secretions of cows under different housing and milking technologies (n = 21)

Технология / Technology	Наименование микроорганизма / Name of microorganism	Количество / Quantity	
		n	%
1	Монокультуры микроорганизмов / Monocultures of microorganisms		
	<i>Staphylococcus aureus</i>	3	42,9
	Ассоциации микроорганизмов / Associations of microorganisms		
	<i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Enterococcus faecium</i>	2	28,6
	<i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Enterobacter spp.</i>	2	28,6
2	Монокультуры микроорганизмов / Monocultures of microorganisms		
	<i>Escherichia coli</i> (непатогенный тип / <i>Escherichia coli</i> (non-pathogenic type))	2	28,6
	Ассоциации микроорганизмов / Associations of microorganisms		
	<i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Streptococcus spp.</i>	1	14,3
	<i>Enterococcus faecium</i> + <i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Escherichia coli</i> (непатогенный тип / non-pathogenic type)	1	14,3
	<i>Enterococcus faecalis</i> + <i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Escherichia coli</i> (непатогенный тип / non-pathogenic type)	1	14,3
	<i>Enterococcus faecalis</i> + <i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Escherichia coli</i> (непатогенный тип / non-pathogenic type) + <i>Streptococcus spp.</i>	1	14,3
3	Монокультуры микроорганизмов / Monocultures of microorganisms		
	<i>Staphylococcus aureus</i>	2	28,6
	<i>Escherichia coli</i>	1	14,3
	Ассоциации микроорганизмов / Associations of microorganisms		
	<i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Mucor</i>	1	14,3
	<i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Escherichia coli</i> (непатогенный тип / non-pathogenic type) + <i>Enterococcus faecium</i>	2	28,6
	<i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Escherichia coli</i> (непатогенный тип / non-pathogenic type) + <i>Enterococcus faecium</i> + <i>Enterobacter spp.</i> + <i>Mucor</i>	1	14,3

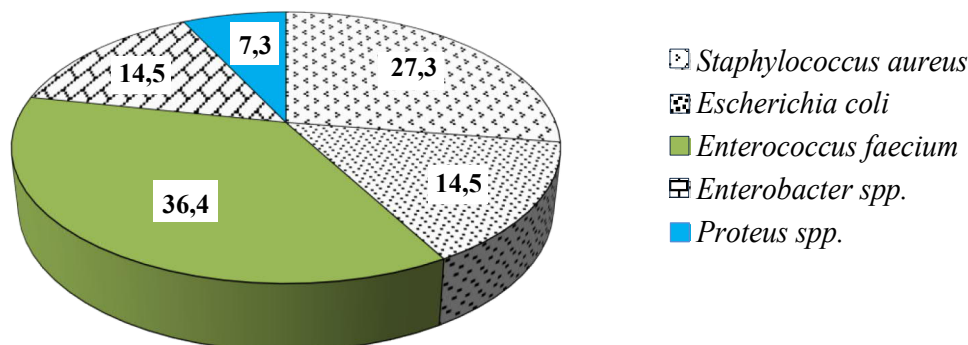


Рис. 2. Состав микробиоты кожи сосков молочной железы коров, % /

Fig. 2. The composition of the microbiota of the skin of the teats of the mammary gland of cows, %

Таблица 3 – Структура популяции микроорганизмов, выделенных с кожи сосков молочной железы коров при разных технологиях содержания и доения (n = 21) /

Table 3 – Population structure of microorganisms isolated from the skin of the mammary gland of cows under different housing and milking technologies (n = 21)

Технология / Technology	Наименование микроорганизма / Name of microorganism	Количество / Quantity	
		n	%
1	Ассоциации микроорганизмов / Associations of microorganisms		
	<i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Enterococcus faecium</i> + <i>Proteus spp.</i>	3	42,9
	<i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Enterococcus faecium</i> + <i>Enterobacter spp.</i>	4	57,1
2	Монокультуры микроорганизмов / Monocultures of microorganisms		
	<i>Enterococcus faecium</i>	2	28,6
	Ассоциации микроорганизмов / Associations of microorganisms		
	<i>Enterococcus faecium</i> + <i>Escherichia coli</i> (непатогенный тип / non-pathogenic type)	3	42,9
	<i>Enterococcus faecium</i> + <i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Escherichia coli</i> (непатогенный тип / non-pathogenic type)	2	28,6
3	Монокультуры микроорганизмов / Monocultures of microorganisms		
	<i>Escherichia coli</i> (непатогенный тип / non-pathogenic type)	1	14,3
	Ассоциации микроорганизмов / Associations of microorganisms		
	<i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Enterococcus faecium</i> + <i>Escherichia coli</i> (непатогенный тип / non-pathogenic type)	2	28,6
	<i>Staphylococcus aureus</i> + <i>Enterococcus faecium</i> + <i>Enterobacter spp.</i>	4	57,1

На основании проведенных исследований установили, что наиболее эффективными для обработки сосков коров после доения являются средства на основе хлоргексидина, к которым у наибольшего количества изолятов *Staphylococcus aureus* (26,7 %) установили чувствительность. Резистентностью и промежуточной устойчивостью обладали 33,3 и 40,0 % изолятов золотистого стафилококка соответственно. Изоляты *Enterococcus faecium*, *Escherichia coli* (непатогенный тип) и *Proteus spp.*

в подавляющем случае (80,0 %, 87,5 и 75,0 % соответственно) были чувствительны к хлоргексидину, входящему в состав средств для обработки сосков молочной железы коров. Однако у 12,5 % *Escherichia coli* (непатогенный тип) и 25,0 % *Proteus spp.* установили устойчивость. Микроорганизмы рода *Enterobacter spp.* обладали резистентностью и промежуточной устойчивостью к хлоргексидину в 12,5 и 25,0 % соответственно, при этом чувствительность установили у 62,5 % изолятов (табл. 4).

Таблица 4 – Определение чувствительности выделенных изолятов с кожи сосков вымени коров к средствам для обработки после доения, % /

Table 4 – Determination of the sensitivity of isolated isolates from the skin of cow udder teats to the post-milking treatment agents, %

Изоляты / Isolates	Кол-во / Quantity	Действующее вещество / Active substance								
		хлоргексидин / chlorhexidine			йод / iodine			молочная кислота / lactic acid		
		R*	I	S	R	I	S	R	I	S
<i>S. aureus</i>	15,0	40,0	33,3	26,7	53,3	40,0	6,7	46,7	40,0	13,3
<i>E. faecium</i>	20,0	-	20,0	80,0	15,0	25,0	60,0	-	45,0	55,0
<i>E. coli</i> (непатогенный тип / non-pathogenic type)	8,0	12,5	-	87,5	25,0	50,0	25,0	12,5	12,5	75,0
<i>Proteus spp.</i>	4,0	25,0	-	75,0	50,0	25,0	25,0	25,0	25,0	50,0
<i>Enterobacter spp.</i>	8,0	12,5	25,0	62,5	25,0	25,0	50,0	-	50,0	50,0

*Примечания: зона подавления до 10 мм – резистентные – R; 10–15 мм – промежуточная устойчивость – I; более 15 мм – чувствительные – S /

Notes: suppression zone up to 10 mm – resistant – R; 10-15 mm – intermediate resistance – I; more than 15 mm – sensitive – S.

По результатам исследований, средства на основе йода оказались менее эффективными за счет обнаружения большого количества изолятов, обладающих резистентностью (*Staphylococcus aureus* (53,3 %), *Enterococcus faecium* (15,0 %), *Escherichia coli* (непатогенный тип) (25,0 %), *Proteus spp.* (50,0 %), *Enterobacter spp.* (25,0 %)).

К средствам для обработки сосков вымени после доения, у которых действующим веществом является молочная кислота, резистентностью обладали 46,7 % изолятов *Staphylococcus aureus*. Промежуточную устойчивость установили у 45,0 % *Enterococcus faecium*. Максимальную чувствительностью выявили у 75,0 % выделенных изолятов *Escherichia coli* (непатогенный тип)

Заключение. Проведенные исследования показали, что видовой состав микроорганизмов, выделенных из секрета молочной железы коров, идентичен с выявленной микрофлорой кожи сосков вымени животных. Отличительной особенностью является наличие в пробах секрета молочной железы коров плесневых грибов рода

Mucor, а в смывах с кожи сосков вымени – *Proteus spp.* Полученные данные указывают, что при нарушении условий содержания и технологии доения микроорганизмы, колонизирующие поверхность кожи сосков вымени коров, способны проникать в молочную железу и вызывать воспалительные процессы. Результаты по определению чувствительности выделенных изолятов с кожи сосков молочной железы коров к средствам для обработки после доения на основе разных действующих веществ показали, что все они имеют недостаточную эффективность против *Staphylococcus aureus*. Так, 53,3 и 46,7 % выделенных изолятов *Staphylococcus aureus* проявляют резистентность к средствам на основе йода и молочной кислоты соответственно, минимальное количество изолятов (40,0 %) устойчиво к средствам, где в качестве действующего вещества используется хлоргексидин. В отношении остальных выделенных изолятов (*E. faecium*, *E. Coli*, *Proteus spp.*, *Enterobacter spp.*), высокую эффективность показали средства на основе хлоргексидина, чувствительность которых составила 62,5–87,5 %.

Список литературы

1. Васильев В. В. Экономический ущерб от молока при маститах коров. Ветеринария. 2008;(1):32–34.
2. Эххорутомвен О. Т., Медведев Г. Ф., Стукина А. И. Причины, частота мастита у коров и их молочная продуктивность. Животноводство и ветеринарная медицина. 2022;(1(44)):7–11.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48113263> EDN: HQMHDC
3. Капустин А. В., Иванов Е. В. Инфекционные маститы у коров. Обзор. Труды Всероссийского НИИ экспериментальной ветеринарии имени Я. П. Коваленко. 2020;81(2):57–75.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=58485492> EDN: LZHCSTO
4. Климов Н. Т., Зимников В. И., Ерин Д. А., Пашенцев А. В. Проблема мастита у коров и повышения качества молока. Молочная промышленность. 2018;(7):68–70.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35325777> EDN: XULCNV
5. Новикова Е. Н. Проблема мастита у коров. Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по мат-лам X Всеросс. конф. молодых ученых, посвящ. 120-летию И. С. Косенко. Отв. за вып. А. Г. Кошцаев. Краснодар: Кубанский ГАУ им. И. Т. Трубилина, 2017. С. 254–255.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ynmvzj> EDN: YNMVZJ
6. Мирончик С. В., Бабаянц Н. В. Современные тенденции в лечении коров, больных маститом. Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2021;(24-2):277–285.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46301078> EDN: IUIDNM
7. Sharun K., Dhama K., Tiwari R., Gugjoo M. B., Iqbal Yatoo M., Patel S. K. et al. Advances in therapeutic and managemental approaches of bovine mastitis: a comprehensive review. Veterinary Quarterly. 2021;41(1):107–136. DOI: <https://doi.org/10.1080/01652176.2021.1882713>
8. Sigmund M., Egger-Danner C., Firth C. L., Obritzhauser W., Roch F. F., Conrady B., Wittek T. The effect of antibiotic versus no treatment at dry-off on udder health and milk yield in subsequent lactation: A retrospective analysis of Austrian health recording data from dairy herds. Journal of Dairy Science. 2023;106(1):452–461. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21790>
9. Шадская А. В., Макеев В. А., Полянский Д. И. К проблеме антибиотикорезистентности микроорганизмов. Продовольственная безопасность: от зависимости к самостоятельности: сб. мат-лов Всеросс. научн.-практ. конф. Орел: Орловский ГАУ им. Н. В. Парахина, 2017. С. 237–238.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yonqzw> EDN: YONQZW

10. Лаишевцев А. И., Смирнов Д. Д., Ежова Е. Г., Пименов Н. В., Олейник Н. А. Антибиотикозамещающие программы в животноводстве. Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2023;(2):111–122. DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202302015> EDN: RJRGQX
11. Макаров Д. А. Проблема антибиотикорезистентности у людей вследствие применения антибиотиков в животноводстве. Контроль качества продукции. 2023;(8):43–48. Режим доступа: <https://ria-stk.ru/mos/adetail.php?ID=222393> EDN: MVYKTL
12. Соколова О. В., Безбородова Н. А., Кривоногова А. С., Зубарева В. Д. Распространение антибиотикорезистентных изолятов *S. aureus* в молочном животноводстве. Пермский аграрный вестник. 2023;(3(43)):105–112. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54893539> EDN: RKLQRM
13. Безбородова Н., Соколова О., Кожуховская В. Анализ генетических маркеров антибиотикорезистентности микробиоты органов репродукции и молочной железы у коров при воспалительном процессе. Türkmenistanyň garaşsyzlygynyň şanly 30 ýyllygy mynasybetli: мат-лы научн. конф. Ашхабад, 2021. С. 504–507. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5340303> EDN: DFUMVP
14. Соколова О. В., Шкуратова И. А., Безбородова Н. А., Кожуховская В. В. Антибиотикорезистентность микробиоты молочной железы и репродуктивного тракта коров. Ветеринария. 2021;(9):10–15. DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.9.10-15> EDN: MQJHNF
15. Кривоногова А. С., Соколова О. В., Безбородова Н. А., Моисеева К. В., Исаева А. Г. Динамика антимикробной резистентности энтерококков на молочном-товарной ферме. Ветеринария Кубани. 2021;(4):9–12. Режим доступа: http://vetkuban.com/num4_202103.html EDN: KINKER
16. Beaver A., Meagher R. K., Keyserlingk A. G., Weary D. M. Invited review: A systematic review of the effects of early separation on dairy cow and calf health. Journal of Dairy Science. 2019;102(7):5784–5810. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15603>
17. Morton J. M., Penry J. F., Malmo J., Mein G. A. Premilking teat disinfection: is it worthwhile in pasture-grazed dairy herds. Journal of Dairy Science. 2014;97(12):7525–7537. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8185>
18. Вахненко М. М. Оценка профилактических мероприятий во время процесса доения коров на базе крестьянского хозяйства Аникьева А. В. Молодежь и наука. 2023;(10):40. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=57662750> EDN: GAJTHY
19. Бибаева Ю., Филатова А., Авдеенко В. Метод профилактики мастита и повышения качества молока. Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2023;(4):47–53. Режим доступа: <https://panor.ru/articles/metod-profilaktiki-mastita-i-povysheniya-kachestva-moloka/91900.html>
20. Подрез В. Н., Лыгина М. А., Карпеня С. Л., Шамич Ю. В., Карпеня А. М. Влияние санитарной обработки вымени на микробную обсемененность сосков и качество молока. Зоотехническая наука Беларуси. 2021;56(2):169–177. Режим доступа: <https://zootech.belal.by/jour/article/view/1655/1548> EDN: ITLNDW
21. Подрез В. Н., Карпеня А. М., Карпеня С. Л., Шамич Ю. В. Влияние последоильной обработки сосков вымени коров на состояние молочной железы и качество молока. Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. 2018;54(4):195–198. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36817228> EDN: YUNYVV

References

1. Vasilyev V. V. Economic damage due to loss milk in case of cows. *Veterinariya = Veterinary*. 2008;(1):32–34. (In Russ.).
2. Ekkhorutomven O. T., Medvedev G. F., Stukina A. I. Causes, frequency of mastitis in cows and their milk production. *Zhivotnovodstvo i veterinarnaya meditsina = Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2022;(1(44)):7–11. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48113263>
3. Kapustin A. V., Ivanov E. V. Infectious mastitis in cows. Review. *Trudi Vserossiyskogo NII eksperimental'noy veterinarii imeni Ya. R. Kovalenko*. 2020;81(2):57–75. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=58485492>
4. Klimov N. T., Zimnikov V. I., Erin D. A., Pashentsev A. V. Problems of mastitis in cows and improvement of milk quality. *Molochnaya promishlennost' = Dairy Industry*. 2018;(7):68–70. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35325777>
5. Novikova E. N. The problem of mastitis in cows. Scientific support of the agro-industrial complex: collection of articles on the Proceedings of the All-Russian Conference of Young Scientists dedicated to the 120th anniversary of I. S. Kosenko. Responsible for the issue is A. G. Koshchayev. Krasnodar: *Kubansky GAU im. I. T. Trubilina*, 2017. pp. 254–255. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ynmvzj>
6. Mironchik S. V., Babayants N. V. Current trends in the treatment of mastitis-infected cows. *Aktualnie problemi intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva*. 2021;(24-2):277–285. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46301078>
7. Sharun K., Dhama K., Tiwari R., Gugjoo M. B., Iqbal Yatoo M., Patel S. K. et al. Advances in therapeutic and managerial approaches of bovine mastitis: a comprehensive review. *Veterinary Quarterly*. 2021;41(1):107–136. DOI: <https://doi.org/10.1080/01652176.2021.1882713>

8. Sigmund M., Egger-Danner C., Firth C. L., Obritzhauser W., Roch F. F., Conrady B., Wittek T. The effect of antibiotic versus no treatment at dry-off on udder health and milk yield in subsequent lactation: A retrospective analysis of Austrian health recording data from dairy herds. *Journal of Dairy Science*. 2023;106(1):452–461. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21790>

9. Shadskaya A. V., Makeev V. A., Polyansky D. I. To the problem of antibiotic resistance of microorganisms. Food security: from dependence to independence: collection of the Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Orel: *Orlovsky GAU im. N. V. Parakhina*, 2017. pp. 237–238. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yonqzw>

10. Laishevsev A. I., Smirnov D. D., Ezhova E. G., Pimenov N. V., Oleynik N. A. Antibiotic substitution programs in animal husbandry. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya* = Veterinary Medicine, Zootechnics and Biotechnology. 2023;(2):111–122. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202302015>

11. Makarov D. A. The problem of antibiotic resistance in humans due to the use of antibiotics in animal husbandry. *Kontrol kachestva produktsii* = Production Quality Control. 2023;(8):43–48. (In Russ.). URL: <https://ria-stk.ru/mos/adetail.php?ID=222393>

12. Sokolova O. V., Bezborodova N. A., Krivonogova A. S., Zubareva V. D. Distribution of antibiotic-resistant isolates *S. aureus* in dairy farming. *Permsky agrarny vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2023;(3(43)):105–112. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54893539>

13. Bezborodova N., Sokolova O., Kozhukhovskaya V. Analysis of genetic markers of antibiotic resistance in the microbiota of reproductive organs and mammary glands in cows during the inflammatory process. On the occasion of the glorious 30th anniversary of Turkmenistan independence: Proceedings of scientific conference. Ashkhabad, 2021. pp. 504–507. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5340303>

14. Sokolova O. V., Shkuratova I. A., Bezborodova N. A., Kozhu-khovskaya V. V. Antibiotic resistance of microbiota of mammary gland and reproductive tract of cows. *Veterinariya* = Veterinary. 2021;(9):10–15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.9.10-15>

15. Krivonogova A. S., Sokolova O. V., Bezborodova N. A., Moiseeva K. V., Isaeva A. G. Dynamics of antimicrobial resistance of enterococcus on a commercial dairy farm. *Veterinariya Kubani*. 2021;(4):9–12. (In Russ.). URL: http://vetkuban.com/num4_202103.html

16. Beaver A., Meagher R. K., Keyserlingk A. G., Weary D. M. Invited review: A systematic review of the effects of early separation on dairy cow and calf health. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(7):5784–5810. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15603>

17. Morton J. M., Penry J. F., Malmø J., Mein G. A. Premilking teat disinfection: is it worthwhile in pasture-grazed dairy herds. *Journal of Dairy Science*. 2014;97(12):7525–7537. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8185>

18. Vakhnenko M. M. Evaluation of preventive measures during the process of milking cows in the farm of Anikiev A. V. *Molodezh i nauka* = Youth and science. 2023;(10):40. (In Russ.). URL: <https://min.urgau.ru/ru/10-2023>

19. Bibaeva Yu., Filatova A., Avdeenko V. Method of mastitis prevention and improve the quality of milk. *Veterinariya selskokhozyaystvennikh zhivotnikh*. 2023;(4):47–53. (In Russ.). URL: <https://panor.ru/articles/metod-profilaktiki-mastita-i-povysheniya-kachestva-moloka/91900.html>

20. Podrez V. N., Lytina M. A., Karpenia S. L., Shamich Y. V., Karpenia A. M. Impact of udder sanitation on teat microbial contamination and milk quality. *Zootekhnicheskaya nauka Belarusi* = Zootechnical Science of Belarus. 2021;56(2):169–177. (In Russ.). URL: <https://zootech.belal.by/jour/article/view/1655/1548>

21. Podrez V. N., Karpenya A. M., Karpenya S. L., Shamich Yu. V. Influence of final treatment cows nipples on the condition of the mammary gland and milk quality. *Uchenie zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya Vitebskaya ordena Znak pocheta gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsini*. 2018;54(4):195–198. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36817228>

Сведения об авторах

✉ **Исакова Мария Николаевна**, кандидат вет. наук, старший научный сотрудник отдела репродуктивной биологии и неонатологии, ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620061, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7130-5627>, e-mail: marya105@yandex.ru

Лысова Яна Юрьевна, старший научный сотрудник лаборатории микробиологических и молекулярно-генетических методов исследования отдела ветеринарно-лабораторной диагностики с испытательной лабораторией, ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620061, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6797-0659>

Соколова Ольга Васильевна, доктор вет. наук, ведущий научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных, ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620061, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1169-4090>

Красноперов Александр Сергеевич, кандидат вет. наук, старший научный сотрудник отдела экологии и незаразной патологии животных, ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620061, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7838-4126>

Зубарева Владлена Дмитриевна, кандидат вет. наук, старший специалист отдела геномных исследований и селекции животных, ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620061, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0284-0276>

Information about the authors

✉ **Maria N. Isakova**, PhD in Veterinary Science, senior researcher, the Department of Reproductive Biology and Neonatology, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinsky St., Yekaterinburg, Russian Federation, 620061, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7130-5627>, e-mail: marya105@yandex.ru

Yana Y. Lysova, senior researcher, the Laboratory of Microbiological and Molecular Genetic Research Methods, the Department of Veterinary Laboratory Diagnostics with a Testing Laboratory, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinsky St., Yekaterinburg, Russian Federation, 620061, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6797-0659>

Olga V. Sokolova, DSc in Veterinary Science, leading researcher, the Department of Animal Genomics and Selection, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinsky St., Yekaterinburg, Russian Federation, 620061, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1169-4090>

Alexander S. Krasnoperov, PhD in Veterinary Science, senior researcher, the Department of Ecology and Non-Contagious Animal Pathology, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinsky St., Yekaterinburg, Russian Federation, 620061, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7838-4126>

Vladlena D. Zubareva, PhD in Veterinary Science, junior researcher, the Department of Animal Genomics and Selection, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinsky St., Yekaterinburg, Russian Federation, 620061, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0284-0276>

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1422-1430>



УДК 633.34:535.34

Сортовая идентификация сои по статистическим параметрам светопоглощения

© 2025. М. В. Беляков ✉

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

Исследованы статистические параметры спектров эффективного светопоглощения семян сои различных сортов и групп спелости. Цель исследований – выявить сортовые особенности и разработать алгоритм сортовой идентификации сои по статистическим параметрам спектров поглощения при возбуждении фотолюминесценции. Спектральные характеристики поглощения были получены на дифракционном спектрофлуориметре CM2203 в диапазоне длин волн $\lambda = 230-600$ нм. Рассчитаны статистические параметры спектров – математическое ожидание, дисперсия, асимметрия и эксцесс. Эффективное светопоглощение при возбуждении фотолюминесценции происходит в диапазоне от 300 до 550 нм с основными максимумами на 420 нм, 390 и 362 нм. Поглощение излучения вызвано наличием фенольных кислот, каротиноидов, рибофлавина, а также терпеноидов, спорополленина, липофусцина, лигнина или флавоноидов. Математическое ожидание и дисперсия определяются со сравнительно небольшой относительной погрешностью – не более 1,2 и 7,6 % соответственно, а погрешности определения асимметрии и эксцесса могут достигать 16,1–22 %. По величине асимметрии однозначно может быть идентифицирован сорт Баргузин. Остальные исследованные сорта могут быть с различной вероятностью идентифицированы по всем четырем статистическим параметрам. Сорта Вилана и Вилана бета значительно отличаются по величине дисперсии. Разработан алгоритм сортовой идентификации на основе вероятностной принадлежности сои к известным сортам и получена база данных статистических параметров сортов сои. Для увеличения точности возможна комбинация применения статистических и ранее полученных интегральных параметров поглощения. В дальнейшем предполагается увеличить число идентифицируемых сортов, уточнить диапазоны и разработать оптико-электронную установку сортовой идентификации сои.

Ключевые слова: семена сои, сортовая принадлежность, оптическое излучение, спектры поглощения, алгоритм распознавания

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № FGUN-2025-0007).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Беляков М. В. Сортовая идентификация сои по статистическим параметрам светопоглощения. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1422–1430. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1422-1430>

Поступила: 17.07.2025

Принята к публикации: 19.11.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Varietal identification of soybeans by statistical parameters of light absorption

© 2025. Mikhail V. Belyakov ✉

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The statistical parameters of the effective light absorption spectra of soybean seeds of various cultivars and ripeness groups were studied. The purpose of the research was to identify the varietal features and to develop an algorithm for varietal identification of soybeans according to the statistical parameters of absorption spectra during photoluminescence excitation. Spectral absorption characteristics were obtained using a CM2203 diffraction spectrofluorimeter in the wavelength range of $\lambda = 230-600$ nm. The statistical parameters of the spectra were calculated – mathematical expectation, variance, skewness and kurtosis. Effective light absorption during photoluminescence excitation occurs in the range from 300 nm to 550 nm with the main maxima at 420nm, 390 and 362 nm. Radiation absorption is caused by the presence of phenolic acids, carotenoids, riboflavin, as well as terpenoids, sporopollenin, lipofuscin, lignin, or flavonoids. The mathematical expectation and variance are determined with a relatively small relative error – no more than 1.2 and 7.6 %, respectively, and the errors in determining skewness and kurtosis can reach 16.1–22 %. By the magnitude of the asymmetry, the ‘Barguzin’ cultivar can be uniquely identified. The remaining studied cultivars can be identified with varying probability by all four statistical parameters.

The 'Vilana' and 'Vilana beta' cultivars differ significantly in terms of variance. An algorithm for varietal identification based on the probabilistic identity of soybeans to known cultivars has been developed and a database of statistical parameters of soybean cultivars has been obtained. To increase accuracy, a combination of statistical and previously obtained integral absorption parameters is possible. In the future it is planned to increase the number of identified cultivars, clarify the ranges and develop an optoelectronic soybean varietal identification system.

Keywords: soybean seeds, cultivar identity, optical radiation, absorption spectra, recognition algorithm

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 Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. FGUN-2025-0007).

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

Conflict of interest: the author declares that there is no conflict of interest.

For citation: Belyakov M. V. Varietal identification of soybeans by statistical parameters of light absorption. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1422–1430. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.26.6.1422-1430>

Received: 17.07.2025

Accepted for publication: 19.11.2025

Published online: 26.12.2025

Соя, как одна из важнейших источников растительного белка, отличается высокой доступностью, приемлемой ценой и питательной ценностью. Из соевых бобов можно приготовить широкий спектр продуктов, таких как быстрорастворимые смеси, белковые концентраты и изоляты, а также текстурированные волокна. Соя часто используется в качестве заменителя мяса благодаря высокому содержанию белка и ценных пищевых компонентов [1]. К настоящему времени мировые объемы экспорта могут возрасти по сравнению с 2016–2020 гг. на 19 %, а в России – почти на 80 %. Значительно превышающие среднемировые ожидаемые темпы роста экспорта из России позволят увеличить долю отечественного экспорта [2]. Реализовать имеющийся потенциал можно, если повысить эффективность растениеводства, разрабатывая средства автоматизации и цифровые технологии [3].

Сортовая идентификация сои необходима для обеспечения чистоты и урожайности сорта. Разные сорта сои отличаются генетической и физической чистотой, способностью к прорастанию и жизнеспособностью [4].

В настоящее время для характеристики новых сортов, заявленных на выдачу патента, все больше применяют современные методы, основанные на анализе микросателлитных локусов ДНК [5]. Метод идентификации сортовой принадлежности с использованием микросателлитных маркеров апробирован для идентификации фальсификата в образцах семян сои [6].

Для количественного определения глицина в соевых бобах и продуктах из них разработан иммуноферментный анализ на основе нанобусин с квантовыми точками CdSe/ZnS (QBs-FLISA). Метод QBs-FLISA успешно применён для выявления семян сои различных сортов и соевых продуктов, полученных с помощью разных технологий обработки [7]. В исследовании [8] использовали электронный

нос HERCALES Fast Gas Chromatography для идентификации и определения характеристик различных летучих соединений в пяти высокоурожайных сортах сои.

Оптическими фотометрическими методами исследовали физиологические характеристики сои для проведения неинвазивной экспресс-диагностики в полевых условиях [9]. Рассмотрена возможность применения методов оптической спектроскопии для идентификации сорта сои. Методами ИК-спектроскопии и UV-VIS-NIR спектроскопии построены модели классификации [10].

К другим оптическим технологиям сортовой идентификации относится метод гиперспектральной визуализации. Для различения сортов семян сои предложена модель, основанная на технологии гиперспектральной визуализации и одномерной свёрточной нейронной сети (1D CNN). Получены гиперспектральные изображения в диапазоне 866,4–1701,0 нм [4]. Аналогичные технологии разработаны для идентификации сортов семян кукурузы [11], ячменя в ближнем инфракрасном диапазоне 900–1700 нм [12], сорго [13], риса [14] и пшеницы [15].

Вместе с тем гиперспектральная визуализация проводится исключительно по морфологическим характеристикам зерна и имеет несколько важных ограничений и недостатков – это необходимость предварительной обработки полученных изображений для сглаживания и уменьшения объема данных, что не годится для работы в реальном времени; приборы для инфракрасного диапазона более дорогие, требующие построения высококачественного изображения и необходимости разработки сверточных нейронных сетей. Оптические фотолуминесцентные методы диагностики имеют более низкую стоимость реализации, являются быстродействующими и не требуют построения изображений, поэтому могут стать достойной

альтернативой имеющимся методам сортовой идентификации семян.

Цель исследований – выявить сортовые особенности и разработать алгоритм сортовой идентификации сои по статистическим параметрам спектров поглощения при возбуждении фотолюминесценции.

Научная новизна – впервые получены статистические параметры спектров возбуждения (поглощения) семян сои для идентификации сорта.

Материал и методы. Для проведения исследований использовали семена сои сортов очень ранней спелости – Баргузин, Пума, Саяна, ранней спелости – Грея, Ирбис, Селена, Славия, среднеспелые – Вилана, Вилана бета урожая 2022 года. Параметры, заявленные производителем ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» (г. Краснодар), представлены в таблице 1 (<https://vniimk.ru/production/>).

Таблица 1 – Параметры исследованных сортов сои различных групп спелости / Table 1 – Parameters of the studied soybean varieties of different ripening groups

Сорт / Cultivar	Группа спелости / Ripeness group	Потенциальная урожайность, ц/га / Potential yield, c/ha	Масличность семян, % / Oil content of seeds, %	Содержание белка, % / Protein content, %
Баргузин / 'Barguzin'	Очень ранняя / Very early	40	23	41
Вилана / 'Vilana'	Среднеспелая / Mid ripening	57	22	42
Вилана бета / 'Vilana beta'		57	22	42
Грея / 'Greya'	Ранняя / Early	32	18	46
Ирбис / 'Irbis'		45	21	46
Пума / 'Puma'	Очень ранняя / Very early	36	23	43
Саяна / 'Sayana'		37	23	42
Селена / 'Selena'	Ранняя / Early	42	22	43
Славия / 'Slavia'		38	22	43

Среднеранний сорт сои Вилана бета выведен на базе сорта Вилана, по сравнению с которым имеет повышенные интенсивность теневого фотосинтеза и продуктивность нижних затенённых ярусов растений. По результатам сортоиспытания 2018–2019 гг., сорт Вилана бета по урожайности превысил стандартный Вилана [16].

Оптические спектры возбуждения (эффективного поглощения) были измерены на установке, состоящей из автоматизированного дифракционного спектрофлуориметра SM2203 и внешней светозащитной камеры, соединённых кварцевым световодом. Применяли ранее разработанную автором методику [17]. При синхронном сканировании монохроматорами со смещением 80 нм для максимального фотосигнала определяли спектральные коэффициенты эффективного светопоглощения $\eta(\lambda)$ в диапазоне длин волн $\lambda = 230\text{--}600$ нм. Было проведено по 50 измерений каждого образца

зерен сои для каждого сорта. Отдельной подготовки проб не требуется, измерения проходили при комнатной температуре и атмосферном давлении. Далее в программном пакете Microsoft Origin произвели расчёт статистических параметров – математического ожидания M_λ , дисперсии σ^2 , асимметрии As и эксцесса Ex .

Математическое ожидание M_λ (в нанометрах) для непрерывного спектрального распределения определяется интегрированием по плотности распределения¹:

$$M_\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \lambda \eta(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где λ_1, λ_2 – наименьшее и наибольшее значения длин волн спектра возбуждения (поглощения).

Дисперсия σ^2 , как статистический показатель, который характеризует разброс значений в выборке или совокупности, находится по формуле:

$$\sigma^2 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (\lambda - M_\lambda)^2 \varphi(\lambda) d\lambda. \quad (2)$$

¹Зиенко С. И., Беяков М. В., Малышкин В. В. Новые методы и средства спектрально-люминесцентного анализа семян растений: монография. Смоленск: Универсум, 2020. 184 с.

Числовой характеристикой асимметричности является центральный статический момент 3-его порядка μ_3 :

$$\mu_3 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (\lambda - M_\lambda)^3 \varphi(\lambda) d\lambda. \quad (3)$$

Более распространенным параметром оценки асимметричности спектрального распределения является асимметрия As , определяемая из соотношения:

$$As = \frac{\mu_3}{\sigma^3}. \quad (4)$$

Асимметрия может быть правосторонней ($As > 0$) либо левосторонней ($As < 0$).

Числовой характеристикой крутизны спектра служит оценка центрального статического момента 4-ого порядка μ_4 :

$$\mu_4 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (\lambda - M_\lambda)^4 \varphi(\lambda) d\lambda. \quad (5)$$

Для анализа крутизны используют эксцесс E_λ :

$$E_\lambda = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3. \quad (6)$$

Результаты и их обсуждение. Биохимические показатели зерна исследуемых образцов сои определяли на инфракрасном анализаторе FOSS NIRS DS2500 (Дания) в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в 2024 году. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Биохимические показатели зерна исследуемых сортов сои, % / Table 2 – Biochemical indicators of the grain of studied soybean cultivars, %

<i>Сорт / Cultivar</i>	<i>Белок / Protein</i>	<i>Влага / Moisture</i>	<i>Жир / Fat</i>	<i>Клетчатка / Fiber</i>	<i>Зола / Ash</i>	<i>Крахмал / Starch</i>
Баргузин / 'Barguzin'	36,48±0,73	6,37±0,15	17,43±0,85	9,50±0,57	5,91±0,10	3,23±0,16
Вилана / 'Vilana'	37,95±0,28	6,83±0,28	17,23±0,29	8,15±0,13	6,22±0,14	3,84±0,24
Вилана бета / 'Vilana beta'	37,53±0,31	6,72±0,19	17,15±0,29	7,76±0,19	6,21±0,08	3,56±0,17
Грея / 'Greya'	41,10±0,28	7,09±0,09	17,52±0,20	7,17±0,24	5,56±0,08	2,87±0,16
Ирбис / 'Irbis'	38,33±0,66	6,47±0,12	17,34±0,42	8,46±0,57	5,77±0,13	3,44±0,20
Пума / 'Puma'	38,40±0,22	6,88±0,12	16,94±0,57	7,27±0,18	5,75±0,10	2,81±0,20
Саяна / 'Sayana'	34,73±0,67	6,22±0,13	18,33±0,46	8,24±0,29	5,49±0,11	2,70±0,15
Селена / 'Selena'	35,40±0,41	6,36±0,11	17,65±0,31	7,93±0,52	4,89±0,08	2,53±0,15
Славия / 'Slavia'	34,46±0,57	6,32±0,12	17,40±0,24	7,75±0,18	5,22±0,10	2,09±0,17

Содержание белка заметно большее у сорта Грея, наименьшее – Саяна, Селена и Славия. Влагосодержание зерна примерно одинаковое у всех сортов – 6-7 %, содержание жиров не сильно отличается между сортами – 16–18 %. Различия по содержанию крахмала у сортов довольно большие – до 1,84 раза. Параметры зерна сортов Вилана и Вилана бета, как и следовало ожидать, практически не отличаются друг от друга, за исключением содержания клетчатки.

Наибольшая относительная погрешность определения содержания крахмала – 8,2 %, по остальным показателям погрешность меньше: белка не более 2 %; влажности – 4 %; жиров – 5 %; клетчатки – 6,7 %, золы – 2,3 %. Сравнительно большие погрешности определения показателей у сортов Баргузин, Вилана, Славия.

Спектры поглощения зерна сои исследуемых сортов при синхронном сканировании представлены на рисунке 1.

Наибольшее эффективное светопоглощение выявлено в диапазоне длин волн от 300 до 550 нм с основными максимумами примерно на 420 нм, 390 и 362 нм. Область спектра 330–480 нм является суперпозицией этих максимумов.

В области около 360 нм поглощение может быть вызвано наличием фенольных кислот [18]. Поглощение с максимумом около 420 нм объясняется наличием каротиноидов, рибофлавина, а также суперпозицией спектров излучения терпеноидов, спорополленина, липофусцина [19]. Более длинноволновое, но сравнительно малозаметное поглощение около 480 нм может быть вызвано лигнином или флавоноидами [20].

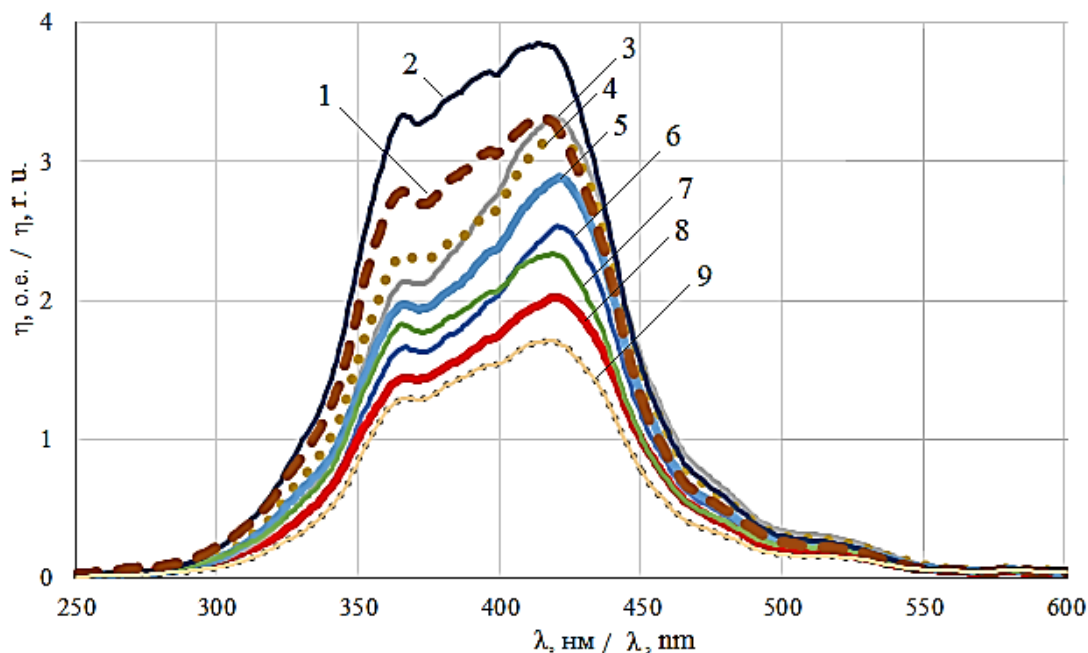


Рис. 1. Спектры поглощения зерна сортов сои различных групп спелости: 1 – Славия, 2 – Селена, 3 – Грея, 4 – Ирбис, 5 – Пума, 6 – Вилана, 7 – Саяна, 8 – Вилана бета, 9 – Баргузин /

Fig. 1. Absorption spectra of soybean varieties of different ripening groups: 1 – ‘Slavia’, 2 – ‘Selena’, 3 – ‘Greya’, 4 – ‘Irbis’, 5 – ‘Puma’, 6 – ‘Vilana’, 7 – ‘Sayana’, 8 – ‘Vilana beta’, 9 – ‘Barguzin’

Ранее было показано, что интегральные параметры возбуждения (поглощательная способность H) и фотолуминесцентного свечения (поток Φ) зависят от конкретного сорта [21].

Результаты расчетов статистических параметров представлены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 видно, что наименьшая погрешность определения статистических параметров для математического ожидания – 0,5–1,2 %, наибольшая – у сорта Грея. Погрешность определения дисперсии

больше – 2,0–7,6 %, выше всего у сортов Баргузин и Славия. Существенно большая погрешность определения асимметрии 5,6–16,1 % и эксцесса 5,2–22,0 %. Вследствие этого диапазоны доверительных интервалов перекрываются, однако для величины асимметрии у сорта Баргузин имеются заметные отличия от остальных, сорта Пума – отличается большая часть диапазона. Диапазоны распределения асимметрии сои различных сортов представлены на рисунке 2.

Таблица 3 – Статистические параметры спектров поглощения зерна сортов сои различных групп спелости / Table 3 – Statistical parameters of the absorption spectra of soybean varieties of different ripening groups

Сорт / Cultivar	M_λ , нм / nm	σ^2	As	Ex
Баргузин / ‘Barguzin’	406±3	2459±186	0,598±0,050	1,262±0,117
Вилана / ‘Vilana’	408±3	2296±94	0,390±0,057	0,908±0,074
Вилана бета / ‘Vilana beta’	406±2	2484±49	0,395±0,035	0,882±0,105
Грея / ‘Greya’	409±5	2325±49	0,469±0,028	0,988±0,217
Ирбис / ‘Irbis’	405±4	2402±98	0,450±0,037	0,927±0,083
Пума / ‘Puma’	406±3	2440±70	0,311±0,050	0,925±0,126
Саяна / ‘Sayana’	404±2	2486±90	0,481±0,036	0,982±0,051
Селена / ‘Selena’	400±3	2186±121	0,498±0,028	1,136±0,083
Славия / ‘Slavia’	399±4	2280±139	0,429±0,068	1,076±0,144

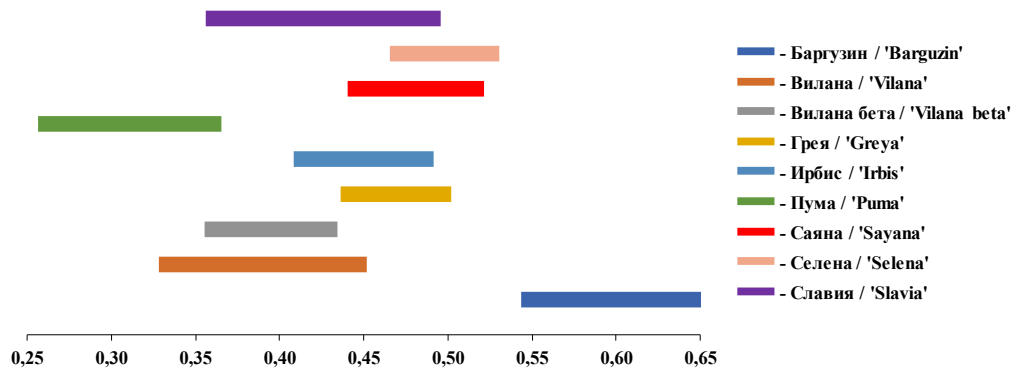


Рис. 2. Диапазоны распределения асимметрии в зерне сои изучаемых сортов / Fig. 2. Distribution ranges of skewness in soybean grain of various cultivars

Сорта Вилана и Вилана бета почти не отличаются как по средним значениям, так и по диапазонам параметров. Единственным значимым отличием является величина дисперсии, что может быть использовано для идентификации.

По диапазонам математического ожидания различий практически нет, особенно в области 404–408 нм. У сортов Селена и Славия величина M_λ несколько меньше, но это не позволяет однозначно идентифицировать каждый сорт.

Введение дополнительного численного критерия, например, произведения $As \cdot Ex$, хотя и увеличивает разброс средних значений у сортов до 2,6 раза, к сожалению, не позволяет уверенно выявить ни один сорт семян, ввиду перекрытия диапазонов.

Сравнивая результаты по сортовому различиям интегральных параметров [21], следует отметить, что наиболее заметное отличие получено для отношений H_{424}/H_{365} и H_{365}/H_{520} у сорта Селена. Для этого же сорта отличие от других проявляется и для потока Φ . Однако по рассмотренным в данном исследовании статистическим параметрам, сортовые отличия у семян сорта Селена проявляются не столь сильно. Так, достоверную идентификацию семян этого сорта можно получить только по дисперсии при её значении меньше 2141, что составляет меньше трети от всего диапазона принимаемых значений и по асимметрии в диапазоне 0,518–0,526 – всего 14 % от всех принимаемых значений.

В общем случае сортовую идентификацию семян необходимо осуществлять по полученным значениям всех четырех ($j = 4$) статистических параметров: математического ожидания M_λ (Π_1), дисперсии σ^2 (Π_2), асимметрии

As (Π_3) и эксцесса Ex (Π_4), то есть определить вероятности принадлежности сои к сортам C_1 – C_9 .

Для каждого известного сорта C_i параметр Π_j принимает значения от a_{ij} до b_{ij} . Тогда среднее значение составит $c_{ij} = (a_{ij} + b_{ij})/2$ (см. табл. 3 для рассмотренных девяти сортов). Распределение параметра внутри этого интервала имеет плотность $p_{ij}(\Pi)$.

Каждому из сортов для идентифицируемого объекта будет соответствовать на каждом шаге алгоритма вес w_i , характеризующий вероятность его принадлежности к i -тому сорту (0, если такая принадлежность невозможна):

1. В начале алгоритма $i = 9$ равновероятных классов, соответственно берём их веса $w_i = 1$.

2. Алгоритм движется по параметрам – от 1-го до 4-го. На j -м шаге обрабатываем параметр Π_j . Для каждого C_i умножаем w_i на $p_{ij}(\Pi_j)$. Если Π_j не попадает в интервал возможных значений для C_i , то $p_{ij}(\Pi_j) = 0$, и вес немедленно станет нулевым; в противном случае это будет некоторое положительное число.

3. По итогу получается набор весов w_i , часть из которых ненулевые. После нормировки получим вероятности принадлежности к конкретным сортам.

Формальная запись алгоритма сортовой идентификации:

$$p_i = \frac{\prod_{j=1}^4 p_{ij}(\Pi_j)}{\sum_{k=1}^9 \prod_{j=1}^4 p_{kj}(\Pi_j)}. \quad (7)$$

При нормальном распределении и среднеквадратичном отклонении σ_{ij} каждый параметр имеет распределение:

$$p_{ij}(\Pi) = \begin{cases} \Phi\left(\frac{\Pi - c_{ij}}{\sigma_{ij}}\right), & \Pi \in [a_{ij}, b_{ij}] \\ 0, & \Pi \notin [a_{ij}, b_{ij}] \end{cases}, \quad (8)$$

где Φ – производящая функция при стандартном распределении.

$$\text{Тогда, } p_i = \begin{cases} \frac{\prod_{j=1}^4 \Phi\left(\frac{\pi-c_{ij}}{\sigma_{ij}}\right)}{\sum_{\substack{k=1 \\ \pi_k \in [a_{kj}, b_{kj}]}^9 \prod_{j=1}^4 \Phi\left(\frac{\pi-c_{kj}}{\sigma_{kj}}\right)}, & \text{если } \pi_j \in [a_{ij}, b_{ij}] \text{ для } j = 1 - 4 \\ 0, & \text{если иначе.} \end{cases} \quad (9)$$

Полученная база данных параметров исследованных сортов сои позволит на основе предложенного алгоритма проводить сортовую идентификацию семян по статистическим параметрам их поглощения. Направлениями дальнейшего развития становятся:

- увеличение числа идентифицируемых сортов, путем расширения базы данных;
- увеличение количества измерений семян каждого сорта для возможного уточнения диапазонов параметров и снижения погрешности;
- разработка оптико-электронной установки для аппаратной реализации методики объективной сортовой идентификации сои.

Общим достоинством применения статистических параметров поглощения семян является их независимость от абсолютной величины фотосигнала в отличие от интегральных параметров (H и Φ), за исключением отношений H_{41}/H_{22} [21]. Вместе с тем, для более достоверной сортовой идентификации возможна комбинация статистических и интегральных параметров поглощения. Наиболее рациональным будет использование отношений интегральных поглощательных способностей H_{424}/H_{365} и H_{365}/H_{520} как не зависящих от величины сигнала и не требующих измерения спектра фотолуминесценции. Введение этих двух соотношений потребует изменения уравнения (9) при $j = 6$.

Выводы. Исследование статистических параметров спектров эффективного светопог-

лощения семян сои 9 сортов различных групп спелости показало следующее:

1. Область эффективного светопоглощения при возбуждении фотолуминесценции расположена от 300 до 550 нм с основными максимумами на 420, 390 и 362 нм. Поглощение излучения может быть вызвано наличием в семенах фенольных кислот, каротиноидов, рибофлавина, а также терпеноидов, спорополленина, липофусцина, лигнина или флавоноидов.

2. Такие статистические параметры спектров, как математическое ожидание и дисперсия определяются со сравнительно небольшой относительной погрешностью – не более 1,2 и 7,6 % соответственно, в то время как погрешность определения асимметрии и эксцесса для некоторых сортов достигает 16,1–22,0 %.

3. По величине асимметрии однозначно может быть идентифицирован сорт Баргузин ($As \geq 0,548$). Остальные исследованные сорта могут быть с различной вероятностью идентифицированы по всем четырем статистическим параметрам. Сорта Вилана и Вилана бета значительно отличаются по величине дисперсии.

4. Полученная база данных параметров исследованных сортов сои позволит проводить сортовую идентификацию семян. В дальнейшем предполагается увеличить число идентифицируемых сортов, уточнить диапазоны и разработать оптико-электронную установку сортовой идентификации сои.

Список литературы

1. Nowacka M., Trusinska M., Chraniuk P., Drudi F., Lukaszewicz J., Nguyen N. P., Przybyszewska A. et al. Developments in Plant Proteins Production for Meat and Fish Analogues. *Molecules*. 2023;28(7):2966. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28072966>
2. Векленко В. И., Еременко О. В. Прогнозирование мирового и российского экспорта сои. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023;(9):222–228. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=60016416> EDN: RNYBGL
3. Лобачевский Я. П., Дорохов А. С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021;15(4):6–10. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10> EDN: YFRZDV
4. Li H., Zhang L., Sun H., Rao Z., Ji H. Identification of soybean varieties based on hyperspectral imaging technology and one-dimensional convolutional neural network. *Journal of Food Process Engineering*. 2021;44(8):e13767. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13767>
5. Рамазанова С. А., Савиченко В. Г., Устарханова Э. Г., Логинова Е. Д., Рамазанов Р. Н., Гучетль А. Х. Поиск новых SSR-локусов ДНК для создания эффективной технологии генотипирования сои. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2021;(4(188)):18–24. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2021-4-188-18-24> EDN: ZCURTO

6. Бондаренко О. Н., Иванов А. А., Пензин А. А. Опыт использования системы паспортизации в установлении сортовой принадлежности сои. Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2025;(1(32)):7–14. DOI: <https://doi.org/10.48612/vch/xxxa-gr7g-5kf7> EDN: RVVVKVQ
7. Song Q., Liu A., Zhang S., Li R., Qiao S., He P. Quantum Dot Nanobead-Based Fluorescence-Linked Immunosorbent Assay for Detection of Glycinin in Soybeans and Soy Products. *Molecules*. 2022;27:3664. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27123664>
8. Ravi R., Taheri A., Khandekar D., Millas R. Rapid Profiling of Soybean Aromatic Compounds Using Electronic Nose. *Biosensors*. 2019;9(2):66. DOI: <https://doi.org/10.3390/bios9020066>
9. Зубарева К. Ю., Белозерова А. В., Хрыкина Т. А. Оценка физиологического состояния растений сои методами фотометрической диагностики. Зернобобовые и крупяные культуры. 2024;(1(49)):28–36. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-1-28-36> EDN: JBJZVF
10. Александрова В. А., Лысенкова А. А. Идентификация сорта сои методами оптической спектроскопии. Товаровед продовольственных товаров. 2025;2(247):84–87. DOI: <https://doi.org/10.33920/igt-01-2502-04> EDN: EYKZXZ
11. Ma R., Wang J., Zhao W., Guo H., Dai D., Yun Y. et al. Identification of Maize Seed Varieties Using MobileNetV2 with Improved Attention Mechanism CBAM. *Agriculture*. 2023;13(1):11. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13010011>
12. Singh T., Garg N. M., Iyengar S. R. S. Nondestructive identification of barley seeds variety using near-infrared hyperspectral imaging coupled with convolutional neural network. *Journal of Food Process Engineering*. 2021;44(10):e13821. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13821>
13. Bu Y., Jiang X., Tian J., Hu X., Han L., Huang D., Luo H. Rapid nondestructive detecting of sorghum varieties based on hyperspectral imaging and convolutional neural network. *Journal of Science Food and Agriculture*. 2023;103(8):3970–3983. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.12344>
14. Sun J., Zhang L., Zhou X., Yao K., Tian Y., Nirere A. A method of information fusion for identification of rice seed varieties based on hyperspectral imaging technology. *Journal of Food Process Engineering*. 2021;44(9):e13797. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13797>
15. Zhao X., Que H., Sun X., Zhu Q., Huang M. Hybrid convolutional network based on hyperspectral imaging for wheat seed varieties classification. *Infrared Physics & Technology*. 2022;125:104270. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2022.104270>
16. Зеленцов С. В., Мошненко Е. В., Бубнова Л. А., Будников Е. Н., Трунова М. В., Рамазанова С. А. Среднеранний теневыносливый сорт сои Вилана бета. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2020;(1(181)):140–146. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-1-181-140-146> EDN: MLWCQZ
17. Беляков М. В. Оптические люминесцентные свойства семян сельскохозяйственных растений. Агрофизика. 2024;(4):72–78. DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2024.04.09> EDN: ММҮНХЗ
18. Pan Y.-L. Detection and characterization of biological and other organic-carbon aerosol particles in atmosphere using fluorescence. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 2015;150:12–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2014.06.007>
19. Matveeva T. A., Sarimov R. M., Persidskaya O. K., Andreevskaya V. M., Semenova N. A., Gudkov S. V. Application of Fluorescence Spectroscopy for Early Detection of Fungal Infection of Winter Wheat Grains. *AgriEngineering*. 2024;6(3):3137–3158. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriengineering6030179>
20. Donaldson L. Autofluorescence in Plants. *Molecules*. 2020;25(10):2393. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25102393>
21. Беляков М. В., Лысенкова А. А. Сортные особенности фотолюминесценции сои. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2025;(2):12–16. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500208225020032> EDN: НТҮҮНД

References

1. Nowacka M., Trusinska M., Chraniuk P., Drudi F., Lukasiewicz J., Nguyen N. P., Przybyszewska A. et al. Developments in Plant Proteins Production for Meat and Fish Analogues. *Molecules*. 2023;28(7):2966. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28072966>
2. Veklenko V. I., Eremenko O. V. Forecasting of global and russian soybean exports. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2023;(9):222–228. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=60016416>
3. Lobachevskiy Ya. P., Dorokhov A. S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Selskokhozyaystvennie mashini i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2021;15(4):6–10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
4. Li H., Zhang L., Sun H., Rao Z., Ji H. Identification of soybean varieties based on hyperspectral imaging technology and one-dimensional convolutional neural network. *Journal of Food Process Engineering*. 2021;44(8):e13767. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13767>
5. Ramazanov S. A., Savichenko V. G., Ustarkhanova E. G., Loginova E. D., Ramazanov R. N., Guchetl A. Kh. Search of the new SSR-loci of DNA for development of effective technology for soybean genotyping. *Maslichnie kulturi. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnikh kultur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2021;(4(188)):18–24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2021-4-188-18-24>

6. Bondarenko O. N., Ivany A. A., Penzin A. A. The experience of using the certification system in establishing the varietal affiliation of soybeans. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik Chuvash State Agrarian University. 2025;(1(32)):7–14. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.48612/vch/xxxa-gr7g-5kf7>
7. Song Q., Liu A., Zhang S., Li R., Qiao S., He P. Quantum Dot Nanobead-Based Fluorescence-Linked Immunosorbent Assay for Detection of Glycinin in Soybeans and Soy Products. *Molecules*. 2022;27:3664. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27123664>
8. Ravi R., Taheri A., Khandekar D., Millas R. Rapid Profiling of Soybean Aromatic Compounds Using Electronic Nose. *Biosensors*. 2019;9(2):66. DOI: <https://doi.org/10.3390/bios9020066>
9. Zubareva K. Yu., Belozerova A. V., Khrikina T. A. Assessment of physiological state of soybean plants by photometric diagnostics methods. *Zernobobovye i krupyaniye kulturi* = Legumes and Groat Crops. 2024;(1(49)):28–36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-1-28-36>
10. Aleksandrova V. A., Lisenkova A. A. Identification of soybean variety by optical spectroscopy methods. *Tovaroved prodovolstvennikh tovarov* = Food Products Commodity Expert. 2025;2(247):84–87. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33920/igt-01-2502-04>
11. Ma R., Wang J., Zhao W., Guo H., Dai D., Yun Y. et al. Identification of Maize Seed Varieties Using MobileNetV2 with Improved Attention Mechanism CBAM. *Agriculture*. 2023;13(1):11. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13010011>
12. Singh T., Garg N. M., Iyengar S. R. S. Nondestructive identification of barley seeds variety using near-infrared hyperspectral imaging coupled with convolutional neural network. *Journal of Food Process Engineering*. 2021;44(10):e13821. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13821>
13. Bu Y., Jiang X., Tian J., Hu X., Han L., Huang D., Luo H. Rapid nondestructive detecting of sorghum varieties based on hyperspectral imaging and convolutional neural network. *Journal of Science Food and Agriculture*. 2023;103(8):3970–3983. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.12344>
14. Sun J., Zhang L., Zhou X., Yao K., Tian Y., Nirere A. A method of information fusion for identification of rice seed varieties based on hyperspectral imaging technology. *Journal of Food Process Engineering*. 2021;44(9):e13797. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13797>
15. Zhao X., Que H., Sun X., Zhu Q., Huang M. Hybrid convolutional network based on hyperspectral imaging for wheat seed varieties classification. *Infrared Physics & Technology*. 2022;125:104270. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2022.104270>
16. Zelentsov S. V., Moshnenko E. V., Bubnova L. A., Budnikov E. N., Trunova M. V., Ramazanova S. A. A Middle-early shade tolerant soybean cultivar Vilana beta. *Maslichnie kulturi. Nauchno-tekhnichesky byulleten Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnikh kultur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2020;(1(181)):140–146. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-1-181-140-146>
17. Belyakov M. V. Optical luminescent properties of agricultural plants' seeds. *Agrofizika* = Agrophysica. 2024;(4):72–78. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2024.04.09>
18. Pan Y.-L. Detection and characterization of biological and other organic-carbon aerosol particles in atmosphere using fluorescence. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 2015;150:12–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2014.06.007>
19. Matveeva T. A., Sarimov R. M., Persidskaya O. K., Andreevskaya V. M., Semenova N. A., Gudkov S. V. Application of Fluorescence Spectroscopy for Early Detection of Fungal Infection of Winter Wheat Grains. *AgriEngineering*. 2024;6(3):3137–3158. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriengineering6030179>
20. Donaldson L. Autofluorescence in Plants. *Molecules*. 2020;25(10):2393. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25102393>
21. Belyakov M. V., Lisenkova A. A. Sortovye osobennosti foto-lyuminescentsii soi. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2025;(2):12–16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500208225020032>

Сведения об авторе

✉ **Беляков Михаил Владимирович**, доктор техн. наук, главный научный сотрудник отдела механизации и автоматизации процессов в животноводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 1-й Институтский проезд, д. 5, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4371-8042>, e-mail: bmw20100@mail.ru

Information about the author

✉ **Mikhail V. Belyakov**, DSc in Engineering, chief researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institut'sky proezd, 5, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4371-8042>, e-mail: bmw20100@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Моделирование систем приводов с автоматической компенсацией воздействия попутной нагрузки на рабочий орган

© 2025. А. Т. Рыбак, Д. В. Рудой, А. В. Ольшевская, С. В. Теплякова ,

А. С. Пруцков

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,

г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Проблемы, возникающие при эксплуатации гидрофицированных систем и связанные с отрицательными (попутными) нагрузками, приводят к снижению производительности и возможным сбоям в подаче рабочей жидкости. Цель исследования – разработать методы моделирования систем приводов с автоматической компенсацией влияния попутной нагрузки на рабочие органы гидрофицированного оборудования сельскохозяйственных машин. Методика исследований основана на математическом моделировании гидромеханических систем сельскохозяйственных машин с нагрузкой, изменяющейся по направлению, построенном на анализе силовых взаимодействий внутри гидроприводов. Представлена математическая модель гидромеханической системы с изменением нагрузки, основанная на анализе силовых взаимодействий внутри гидроприводов. Экспериментальные исследования подтвердили правильность предложенных математических моделей и определили рациональные конструктивные решения для снижения негативного влияния изменения нагрузки на систему. Рассматриваются различные подходы к управлению скоростью исполнительных элементов гидродвигателей, подверженных воздействию внешних нагрузок переменной направленности. Основные результаты исследования необходимы для улучшения характеристик гидроприводов сельскохозяйственных машин, таких как широкозахватные культиваторы, очесывающее устройство и т. д., и обеспечения стабильного и контролируемого движения рабочих органов, даже при наличии нагрузок переменного знака. Разработаны методики расчета и проектирования гидравлических приводов, обеспечивающие устойчивость их работы в условиях изменяющихся нагрузок. Показано преимущество использования, в качестве основного компонента системы стабилизации конструкций, гидравлических замков следящего типа с регулируемым гидравлическим сопротивлением золотникового типа, позволяющих минимизировать негативное влияние переменной нагрузки на процесс работы системы. Экспериментальное подтверждение эффективности предложенных схем и алгоритмов позволяет применять разработанные технологии в серийных конструкциях сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: гидравлический привод, расчёт систем приводов, попутная нагрузка, компенсация воздействия, стабилизирующее устройство

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» «Разработка новой технологии дифференцированной уборки зерновых колосовых культур» (тема № FZNE-2024-0014).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рыбак А. Т., Рудой Д. В., Ольшевская А. В., Теплякова С. В., Пруцков А. С. Моделирование систем приводов с автоматической компенсацией воздействия попутной нагрузки на рабочий орган. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1431–1442. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1431-1442>

Поступила: 25.04.2025

Принята к публикации: 28.11.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Modeling of drive systems with automatic compensation of accompanying load impact on the working unit

© 2025. Alexander T. Rybak, Dmitry V. Rudoy, Anastasiya V. Olshevskaya, Svetlana V. Teplyakova , Alexey S. Prutskov

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Problems arising during the operation of hydraulically actuated systems caused by negative (accompanying) loads lead to reduced performance and possible failures in the supply of working fluid. The aim of the study is to develop modeling methods for drive systems with automatic compensation of the influence of accompanying load on the working elements of hydraulic equipment in agricultural machinery. The research methodology is based on mathematical modeling of hydromechanical systems of agricultural machines subjected to loads with variable direction, constructed through an analysis of force interactions within hydraulic drives. A mathematical model of a hydromechanical system with variable load is presented, based on an analysis of internal force interactions in hydraulic drives. Experimental studies confirmed the validity of the proposed mathematical models and identified rational design solutions for reducing the negative effect of load changes on the system. Various approaches to controlling the speed of hydraulic actuators subjected to external loads of variable direction are considered. The main results of the study are necessary for improving the performance of hydraulic drives in agricultural machinery such as wide-cut cultivators, stripping devices, and others, ensuring stable and controllable movement of working elements even under loads of alternating sign. Methods for calculating and designing hydraulic drives that maintain stable operation under changing load conditions have been developed. The advantage of using servo-type hydraulic locks with adjustable spool-type hydraulic resistance as the main component of the stabilization system is demonstrated, as they minimize the negative impact

of variable loads on system operation. Experimental confirmation of the effectiveness of the proposed schemes and algorithms enables the application of the developed technologies in mass-produced agricultural machinery designs.

Keywords: hydraulic drive, drive system calculation, accompanying load, impact compensation, stabilizing device

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 Don State Technical University of the project «Development of a new technology for differentiated harvesting of cereal crops» (theme No. FZNE-2024-0014).

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: Rybak A. T., Rudoy D. V., Olshevskaya A. V., Teplyakova S. V., Prutskov A. S. Modeling of drive systems with automatic compensation of accompanying load impact on the working unit. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2025;26(6):1431–1442. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1431-1442>

Received: 25.04.2025

Accepted for publication: 28.11.2025

Published online: 26.12.2025

В системах управления движением различных типов гидрофицированных машин нередко возникают нагрузки, действующие в противоположных направлениях на выходной элемент исполнительного гидравлического двигателя (например, поршень гидроцилиндра), когда он движется в одном направлении [1, 2, 3, 4]. Вначале появляется противодействующая (положительная) нагрузка, а затем сопутствующая (отрицательная). Эти приводы широко применяются в сельскохозяйственном оборудовании с большой шириной захвата. Примером такой системы может быть механизм переключения секций широкозахватных культиваторов между транспортным и рабочим положениями. Еще одним примером является гидропривод прицепной очёсывающей жатки, состоящей из двух насосов и двух параллельно соединенных моторов режущего аппарата [5]. В этом случае трехлинейный трехпозиционный гидрораспределитель позволяет изменять направление рабочей жидкости по одному из трех принципов: насос работает на гидромотор; последовательное включение двух насосов, обеспечивающих совместную подачу рабочей жидкости от них на мотор; сброс гидравлической жидкости от одного насоса в бак, при этом второй насос работает в холостую.

При увеличении внешней нагрузки на исполнительном устройстве возможно нарушение подачи гидравлической жидкости ко входу гидромашин. Такой режим функционирования гидропривода крайне неблагоприятен, так как вызывает непредсказуемое перемещение рабочего органа. Как следствие это может привести к падению исполнительного органа по причине нарушения непрерывности потока жидкости.

Для предотвращения неконтролируемого движения управляемого объекта используется специальное тормозное оборудование [6, 7].

Рассмотрим исполнительное устройство, перемещающее груз вертикально. Для контроля и обеспечения стабильной рабочей

скорости предлагается тормозной гидравлический клапан [8] (рис. 1).

Подъем груза осуществляется следующим образом: насос 1 направляет рабочую жидкость через распределитель 2 (золотник распределителя, при этом находится в левой позиции) по каналу 5 в левую полость тормозного гидравлического клапана 8, оттуда по каналу 4 и обратному клапану 17 – в правую полость тормозного гидравлического клапана 16, а после в поршневую полость гидроцилиндра 11. Затем рабочая жидкость из штоковой полости по гидролинии 6 поступает в распределитель 2, далее через сливную гидролинию и фильтр возвращается обратно в бак.

Процесс вертикального опускания описывается следующей последовательностью: насос 1 подает гидравлическую жидкость через гидрораспределитель 2 (золотник сдвигается вправо) по гидролинии 6 непосредственно в штоковую полость гидроцилиндра и одновременно в управляющую полость тормозного клапана 10 золотника 13. В этот момент выход жидкости из поршневой зоны цилиндра блокируется обратным клапаном и самим дросселем, что повышает давление внутри штоковой части цилиндра. Под воздействием возросшего давления жидкость направляется по каналу 7 в управляющую полость тормозного клапана 10. Как только давление достигает значения, способного преодолеть сопротивление пружины 18, золотник 13 приходит в движение, создавая регулируемый пропускной просвет. После того, как отверстие открывается, жидкость вытекает из поршневой камеры цилиндра по гидролинии 12 в правую полость тормозного гидравлического клапана 16, проходит через открытый дроссель, перемещаясь последовательно по трубопроводам, возвращается в распределитель и окончательно поступает в гидробак через фильтр. Похожий рабочий процесс в гидросистеме с тормозным клапаном [9, 10, 11, 12, 13], представленной на рисунке 2.

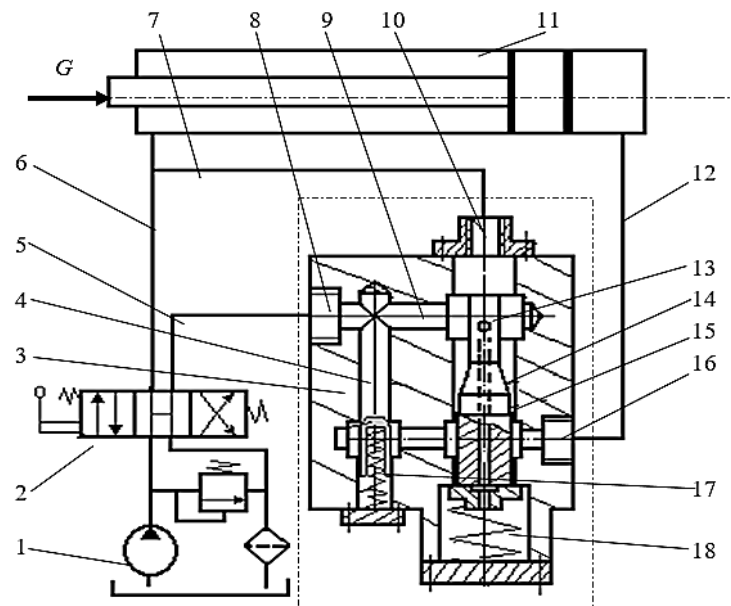


Рис. 1. Схема работы тормозного гидравлического клапана при компенсации односторонней попутной нагрузки: 1 – насос; 2 – распределитель; 3 – корпус тормозного гидравлического клапана; 4 – канал; 5 – канал; 6 – гидролиния; 7 – канал; 8 – левая полость тормозного гидравлического клапана; 9 – канал; 10 – управляющая полость тормозного клапана; 11 – гидроцилиндр; 12 – гидролиния; 13 – золотник; 14 – дросселирующая щель; 15 – кольцевая проточка; 16 – правая полость тормозного гидравлического клапана; 17 – обратный клапан; 18 – пружина /

Fig. 1. Diagram of the operation of the brake hydraulic valve during compensation of a unidirectional accompanying load: 1 – pump; 2 – distributor; 3 – body of the brake hydraulic valve; 4 – channel; 5 – channel; 6 – hydraulic line; 7 – channel; 8 – left chamber of the brake hydraulic valve; 9 – channel; 10 – control chamber of the brake valve; 11 – hydraulic cylinder; 12 – hydraulic line; 13 – spool; 14 – throttling slot; 15 – annular groove; 16 – right chamber of the brake hydraulic valve; 17 – check valve; 18 – spring

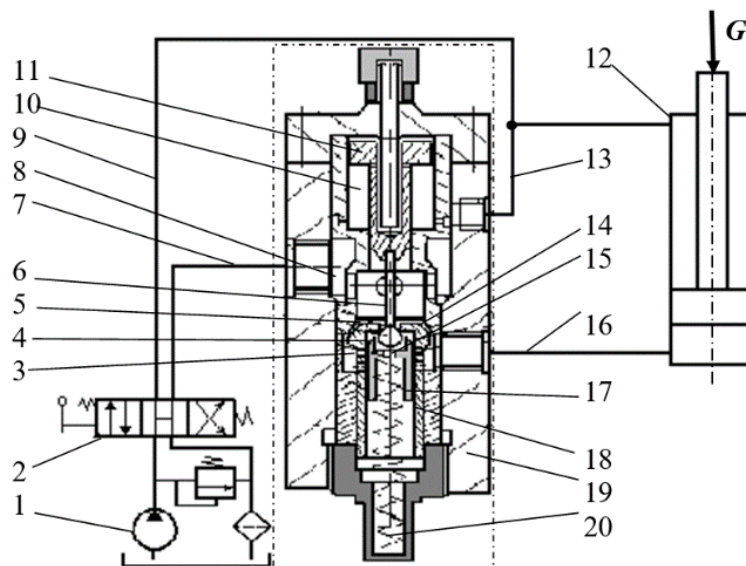


Рис. 2. Схема работы тормозного гидравлического клапана при компенсации односторонней попутной нагрузки: 1 – насос; 2 – гидрораспределитель; 3 – регулируемые отверстия; 4 – фаска регулирующего элемента; 5 – фаска золотника; 6 – шток; 7 – гидролиния; 8 – камера; 9 – канал; 10 – полость управления тормозного клапана; 11 – поршень; 12 – гидроцилиндр; 13 – канал управления; 14 – седло; 15 – осевое отверстие; 16 – канал; 18 – запорный золотник; 19 – корпус; 20 – пружина /

Fig. 2. Diagram of the operation of the brake hydraulic valve during compensation of a unidirectional accompanying load: 1 – pump; 2 – hydraulic distributor; 3 – adjustable orifices; 4 – chamfer of the regulating element; 5 – spool chamfer; 6 – rod; 7 – hydraulic line; 8 – chamber; 9 – channel; 10 – control chamber of the brake valve; 11 – piston; 12 – hydraulic cylinder; 13 – control channel; 14 – seat; 15 – axial orifice; 16 – channel; 18 – shutoff spool; 19 – body; 20 – spring

Принцип работы гидравлического привода с этим устройством описывается в следующей последовательности: рабочая жидкость, поступающая от насоса 1, вначале проходит через распределительный клапан 2, чей золотник расположен в крайнем левом положении. Затем жидкость подается по гидролинии 7 прямо в камеру 8 тормозного устройства. Запорный золотник 18, перемещаясь, сдавливает пружину 20, изменяя проходное сечение, создаваемое скошенными поверхностями золотника 18 и внутренней стенки корпуса 19. Далее жидкость попадает в канал 16 и заполняет поршневую полость гидроцилиндра 12. Параллельно с этим жидкость из штоковой полости гидроцилиндра 12 направляется обратно в распределитель 2, а затем по дренажной магистрали, пройдя через фильтр, возвращается в бак.

В результате растет давление и в штоковой полости цилиндра 12 и в управляющей камере 10 тормозного механизма. По достижении необходимого уровня давления в полости камеры 10, превышающего силу сжатия пружины 20, подвижная часть толкает элементы регулирования через шток 6, обеспечивая открытие осевого отверстия 15 и формирование прохода-дросселирующей щели между скошенным участком регулятора 4 и регулируемыми отверстиями 3. В результате рабочая жидкость из поршневой полости перетекает по каналу 16 через отмеченные отверстия 3, камеру 8 и гидролинию 7 обратно в распределитель 2, а потом по сливной магистрали, пройдя через фильтр, возвращается в бак.

Регулировка расхода рабочей жидкости от канала 16 до камеры 8 производится изменением размера дроссельного отверстия, зависящего от расположения подвижного элемента поршня 11. Позиция штока гидроцилиндра 12 определяется уровнем давления в полости 10, совпадающим с показателем давления в штоковой области цилиндра. Уменьшение давления в штоковой полости снижает расход жидкости через калиброванное отверстие 3, усиливая тем самым давление в поршневой зоне цилиндра 12 и увеличивая давление в его штоковой области. Подобная схема обеспечивает стабильную скорость опускания груза.

Описанные методы регулировки скорости исполнительных механизмов гидросистем, работающих с попутными нагрузками, подходят для использования в системах, где нагрузка остается постоянной во время движения механизма в одном направлении. Однако эти методы

неприменимы, если на каком-то участке движение сопровождается сменой нагрузки с попутной на встречную (переменная нагрузка).

Для плавного контроля движения рабочих элементов при знакопеременных нагрузках предложено несколько решений [14, 15, 16].

На рисунке 3 изображена расчетная схема автомата разгрузки гидропривода с дифференциальным клапаном [17, 18]. В данном случае автомат разгрузки применен в составе гидрозамка в качестве управляющего элемента следящего типа с регулируемым гидравлическим сопротивлением золотникового типа.

Автомат разгрузки гидропривода для автоматического управления разгрузочным процессом гидропривода обеспечивает плавное и эффективное изменение режимов работы при изменениях знака нагрузки. В режиме подъема насос подает рабочую жидкость через распределительный клапан в гидроцилиндр ГЦ, обеспечивая подъем объекта. Во время опускания насос уменьшает подачу жидкости, позволяя объекту плавно двигаться вниз. Дифференциальный клапан играет ключевую роль в обеспечении безопасности и устойчивости процесса разгрузки, поддерживая рациональное давление в системе и предотвращая неконтролируемое падение объекта.

Применение автомата разгрузки с дифференциальным клапаном имеет ряд преимуществ:

- повышенная безопасность благодаря эффективному контролю давления;
- улучшенные показатели производительности за счёт рационального способа распределения энергии;
- устойчивость работы системы, даже при значительных колебаниях нагрузки.

Таким образом, конструкция автомата разгрузки гидропривода эффективно решает проблему нестабильного функционирования гидросистем, повышая надёжность и эффективность процессов управления сельскохозяйственным оборудованием.

Анализ существующих методов регулирования исполнительных механизмов гидросистем показал, что они эффективны лишь при постоянных нагрузках. Однако в реальных условиях эксплуатации сельскохозяйственного оборудования часто возникают ситуации, когда нагрузка меняется от попутной ко встречной. Поэтому необходимы новые подходы для стабильной и надёжной работы гидроприводов с переменной нагрузкой.

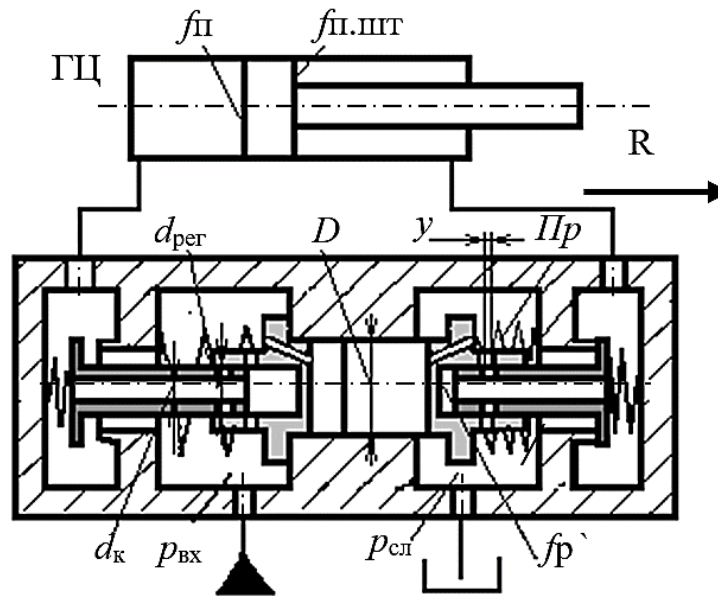


Рис. 3. Расчетная схема автомата разгрузки гидропривода с дифференциальным клапаном: ГЦ – гидроцилиндр; $f_{п}$, $f_{п.шт}$ – площадь поршня гидроцилиндра со стороны его поршневой полости и со стороны его штоковой полости; D – диаметр плунжера гидрозамка; $d_{пер}$ – диаметр затвора плунжера гидрозамка регулирующего перепад давления; $d_{к}$ – диаметр канала; $p_{вх}$, $p_{сл}$ – давление во входной и сливной камерах управления; $Пр$ – пружина; f_{p} – площадь, по которой регулируемый перепад давления /

Fig. 3. Design diagram of the unloading device of a hydraulic drive with a differential valve: ГЦ – hydraulic cylinder; $f_{п}$, $f_{п.шт}$ – piston area of the hydraulic cylinder on the piston side and on the rod side; D – diameter of the hydraulic lock plunger; $d_{пер}$ – diameter of the plunger shutter that regulates the pressure differential; $d_{к}$ – channel diameter; $p_{вх}$, $p_{сл}$ – pressure in the inlet and drain control chambers; $Пр$ – spring, f_{p} – area over which the adjustable pressure differential acts.

Цель исследования – разработать методы моделирования систем приводов с автоматической компенсацией влияния попутной нагрузки на рабочие органы гидрофицированного оборудования сельскохозяйственных машин.

Научная новизна – заключается в математическом обосновании и экспериментальном подтверждении целесообразности компенсации попутной нагрузки, возникающей в процессе функционирования гидравлического привода, за счет использования, в качестве основного компонента системы стабилизации конструкций, гидравлических замков следящего типа с регулируемым гидравлическим сопротивлением золотникового типа.

Материал и методы. Исследовали проблемы эксплуатации гидрофицированных систем, связанные с возникновением отрицательных (попутных) нагрузок, снижающих производительность и надежность подачи рабочей жидкости. Исследование проводили методом компьютерного моделирования и экспериментальных испытаний. Компьютерные модели позволяют оценить влияние различных факторов на устойчивость работы гидросистем и выявить оптимальные режимы функционирования приводов. Экспериментальная часть включала прове-

дение тестов, направленных на проверку теоретических расчётов и выявление реальных условий работы гидрозамков следящего типа с регулируемым гидравлическим сопротивлением золотникового типа.

Для экспериментального подтверждения достоверности математической модели гидропривода коллективом авторов в лаборатории университета разработана экспериментальная установка (рис. 4), которая состоит из исследуемой гидросистемы и системы нагружения. Взаимодействие между системами происходит за счет рычажного механизма 11. В состав исследуемой гидросистемы входит насосная станция переменной производительности 1, для обеспечения реверсивной работы гидрораспределитель 2, стабилизирующее устройство 5 на входе-выходе исполнительного гидроцилиндра 3.

Система нагружения состоит из насосной станции 14, напорного гидроклапана 13, который применяется для регулировки и поддержания постоянного давления в системе нагружения, гидрораспределителя 12, для изменения направления нагружающего усилия от гидроцилиндра нагружения 9. Перемещение штока гидроцилиндра контролируется датчиком перемещения 7.

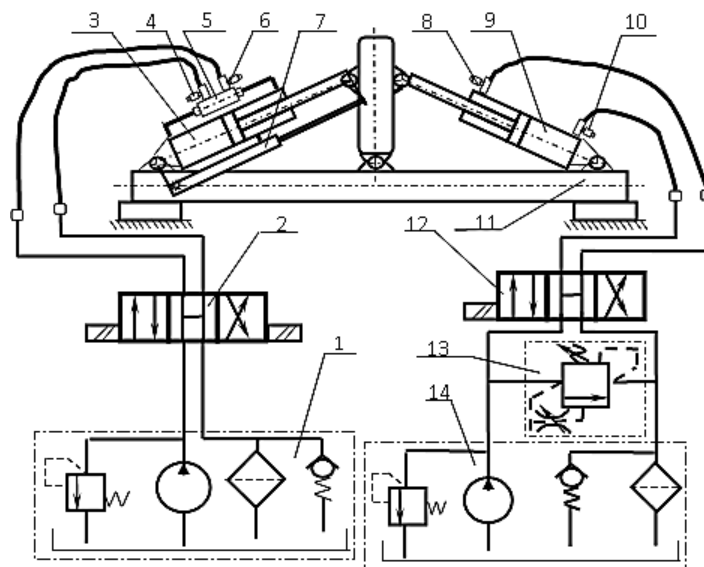


Рис. 4. Экспериментальная установка: 1, 14 – насосные станции; 2, 12 – распределители; 3, 9 – ГЦ исполнительный и нагружения; 4, 6, 8, 10 – датчики давления; 5 – стабилизирующее устройство; 7 – датчик перемещения; 11 – механическое устройство; 13 – клапан давления /

Fig. 4. Experimental setup: 1, 14 – pump stations; 2, 12 – distributors; 3, 9 – hydraulic cylinders for actuation and loading; 4, 6, 8, 10 – pressure sensors; 5 – stabilizing device; 7 – displacement sensor; 11 – mechanical device; 13 – pressure valve

Для измерения и фиксации исследуемых параметров гидросистемы в состав разработанной экспериментальной установки внедрен ПЭВМ с АЦП с системной платой L-305 и графической программой Oscilloscope. Также имеется комплект датчиков давления потенциометрического типа ДТ-100, ДТ-150 и датчик перемещения.

Экспериментальная установка позволяет проводить испытания на трех режимах нагружения:

1 – «положительная нагрузка» на исполнительный гидроцилиндр 3 в середине хода его штока сменялась попутной;

2 – в начале хода штока гидроцилиндра 3 нагрузка отсутствовала, а затем создавалась попутная;

3 – «отрицательная нагрузка» шток исполнительного гидроцилиндра 3 начинает движение при попутной нагрузке, которая в середине хода меняется на встречную.

Результаты и их обсуждение. Достоверность разрабатываемой математической модели гидропривода отработывалась на экспериментальной установке (рис. 4), оснащенной автоматом разгрузки гидропривода с дифференциальным клапаном.

При моделировании гидромеханической системы сделаны следующие допущения:

- 1) подача питающего насоса постоянна;
- 2) утечки жидкости в гидравлических аппаратах отсутствуют;

3) рабочая жидкость принимается не сжимаемой;

4) температура рабочей жидкости постоянная;

5) силы трения в подвижных механических соединениях отсутствуют.

С учётом сделанных допущений математическое описание исследуемой системы включает: уравнение равновесия плунжера управляющей системы гидропривода (1) и силового баланса поршневого узла гидродвигателя (2):

$$R_{вх} + R_{дин} - R_{сл} - R_{рег} - R_{пр} = 0; \quad (1)$$

$$f_{п}(p_{вх} - \Delta p_{н}) - f_{п.шт}(p_{сл} + \Delta p_{сл} + \Delta p_{рег}) + R = 0, \quad (2)$$

где $R_{вх}$, $R_{сл}$ – силы воздействия на плунжер гидрозамка давления на входе и в сливной камере; $R_{дин}$ – динамическая сила, действующая на плунжер гидрозамка при работе его переменного гидравлического сопротивления; $R_{рег}$ – силы воздействия на плунжер гидрозамка регулируемого перепада давления; $R_{пр}$ – силы воздействия на плунжер гидрозамка со стороны пружины; $f_{п}$, $f_{п.шт}$ – площадь поршня гидроцилиндра со стороны его поршневой полости и со стороны его штоковой полости соответственно; $p_{вх}$, $p_{сл}$ – давление во входной и сливной камерах управления гидрозамка; $\Delta p_{сл}$, $\Delta p_{н}$ – потери давления между гидроцилиндром и гидрозамком в сливном канале и между гидрозамком и гидроцилиндром в нагнетательном

канале соответственно; $\Delta p_{\text{рег}}$ – регулируемый перепад давления на рабочем окне гидрозамка (потери давления на переменном гидравлическом сопротивлении); R – попутная сила, действующая на шток гидроцилиндра со стороны приводимой механической системы.

С учётом мультипликации расхода рабочей жидкости в гидроцилиндре расходы рабочей жидкости в линии нагнетания $Q_{\text{н}}$ и сливной гидролинии $Q_{\text{сл}}$ будут связаны уравнением:

$$Q_{\text{сл}} = K_{\text{ц}} \cdot Q_{\text{н}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{ц}} = \frac{f_{\text{пл}}}{f_{\text{п}}}$ – коэффициент мультипликации гидроцилиндра.

Значение сил в уравнениях (1) и (2) определяли:

$$\begin{aligned} R_{\text{вх}} &= p_{\text{вх}} f_{\text{пл}}; & R_{\text{сл}} &= p_{\text{сл}} (f_{\text{пл}} - f'_{\text{рег}}); \\ R_{\text{рег}} &= \Delta p_{\text{рег}} f'_{\text{рег}} & R_{\text{пр}} &= c_{\text{пр}} (y_0 + h_0 + y); \\ R_{\text{дин}} &= Q_{\text{рег}} \sqrt{\rho \Delta p_{\text{рег}} \cos \theta}. \end{aligned}$$

где $f_{\text{пл}}$ – площадь плунжера гидрозамка; $f'_{\text{рег}}$ – площадь, по которой регулируемый перепад давления $\Delta p_{\text{рег}}$ воздействует на плунжер; $c_{\text{пр}}$ – жесткость пружины; y и h_0 – величина открытия рабочего окна золотникового переменного сопротивления и его размер в полностью открытом состоянии соответственно; y_0 – величина предварительного сжатия пружины в нерабочем состоянии гидрозамка; $Q_{\text{рег}}$ – расход рабочей жидкости через переменное сопротивление (при закрытом плоском клапане); ρ – плотность рабочей жидкости; θ – угол между осью регулирующего золотника и вектором скорости, протекающей через регулируемый зазор струи рабочей жидкости.

Перепишем (2) в виде:

$$p_{\text{вх}} = \Delta p_{\text{н}} + K_{\text{ц}} (p_{\text{сл}} + \Delta p_{\text{сл}} + \Delta p_{\text{рег}}) - \frac{R}{f_{\text{п}}}. \quad (4)$$

В результате преобразования получим уравнение гидромеханической системы с изменяющейся нагрузкой, регулирование которой производится золотниковым гидрораспределителем, в стационарном режиме:

$$A + B \cdot y + C \cdot y^2 - c_{\text{пр}} \cdot y^3 = 0, \quad (5)$$

где A – составной параметр, учитывающий коэффициенты расхода жидкости через регулирующий клапан и мультипликации плунжера гидрозамка; B – составной параметр, учитывающий изменения геометрии сечения в линии нагнетания; C – составной параметр, учитывающий силы воздействия на составные элементы гидрозамка.

$$A = K_{\text{рег}} K_{\text{ц}} f_{\text{пл}}; \quad B = Q_{\text{н}} K_{\text{ц}} \sqrt{\rho K_{\text{рег}} \cos \theta};$$

$$C = f_{\text{пл}} [\Delta p_{\text{н}} + K_{\text{ц}} (p_{\text{сл}} + \Delta p_{\text{сл}})] - \frac{f_{\text{пл}}}{f_{\text{п}}} R - c_{\text{пр}} (y_0 + h_0) - p_{\text{сл}} (f_{\text{п}} - f'_{\text{рег}});$$

$$K = \frac{\rho Q_{\text{н}}^2}{2}; \quad p_{\text{ц}} = \frac{R}{f_{\text{п}}}; \quad \Delta p_{\text{рег}} = K_{\text{рег}} \frac{1}{y^2};$$

$$K_{\text{рег}} = \frac{K_{\text{ц}}^2 K}{\mu_{\text{рег}}^2 \pi^2 d_{\text{рег}}^2},$$

где $K_{\text{рег}}$ – коэффициент, характеризующий расход жидкости через регулирующий клапан; K – коэффициент пропускной способности клапана; $p_{\text{ц}}$ – давление, действующее на шток гидроцилиндра со стороны приводимой механической системы; $\mu_{\text{рег}}^2$ – коэффициент расхода регулирующего клапана; $d_{\text{рег}}^2$ – диаметр проходного сечения регулирующего перепада давления.

Представленная математическая модель является силовой моделью гидросистемы и позволяет провести анализ факторов, влияющих на стабильность работы привода, учитывая, что основными параметрами, определяющими устойчивость системы, являются коэффициент вязкости рабочей жидкости, давление в системе и скорость перемещения исполнительного органа.

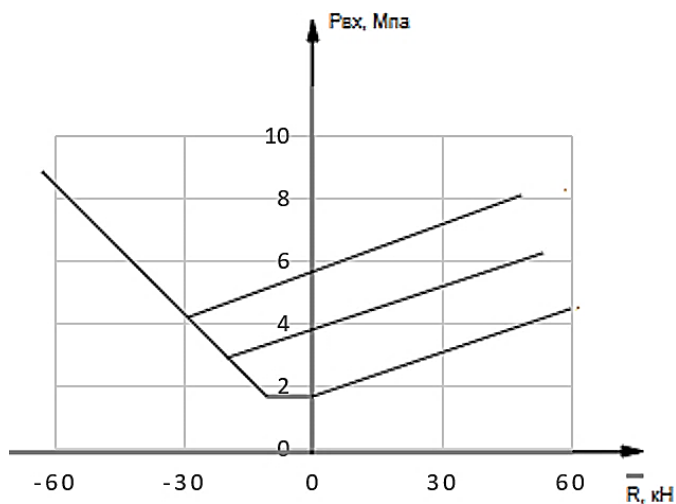
В результате проведенного исследования выявлены ключевые проблемы, связанные с эксплуатацией гидрофицированных систем, а именно возникновение отрицательных (попутных) нагрузок, негативно влияющих на производительность и надежность подачи рабочей жидкости. Эти нагрузки приводят к нестабильной работе системы и снижают ее эффективность, особенно в условиях переменной внешней среды. Возможность оперативного изменения гидравлического сопротивления золотниками позволяет компенсировать внешние возмущения и поддерживать требуемые усилия на рабочем органе.

Разработанная математическая модель подтверждает, что применение предложенного метода существенно повышает стабильность функционирования гидросистемы, снижает влияние внешних факторов и улучшает общую производительность механизмов. В частности, эксперименты подтвердили увеличение точности позиционирования рабочего органа и снижение количества аварийных ситуаций, связанных с перегрузками.

Для решения данной проблемы была разработана методология моделирования систем приводов с автоматическим компенсированием воздействия попутных нагрузок на рабочие

органы гидрофицируемого оборудования. Важнейшей частью этого подхода является использование гидравлических замков следящего типа с регулируемым гидравлическим сопротивлением золотникового типа. Это решение позволяет стабилизировать работу привода путем динамического регулирования сопротивления потоку рабочей жидкости, обеспечивая тем самым постоянство усилий на исполнительном органе независимо от внешних условий.

На рисунке 5 изображено соотношение между уровнем входного давления в регулируемом узле гидропривода и варьируемыми параметрами жесткости использованных пружин, а также размерами золотников. Эти параметры влияют на величину площади, воспринимающей регулируемые изменения давления, воздейст-



*Рис. 5. Зависимость давления на входе гидропривода $P_{вх}$ от нагрузки R :
линия 1 – $d_{пер} = 15$ мм; $c_2 = 50$ кгс/см;
линия 2 – $d_{пер} = 12$ мм; $c_2 = 110$ кгс/см;
линия 3 – $d_{пер} = 7$ мм; $c_2 = 170$ кгс/см /*

*Fig. 5. Dependence of the inlet pressure $P_{вх}$ of the hydraulic drive on the load R :
line 1 – $d_{рег} = 15$ mm; $c_2 = 50$ kgf/cm;
line 2 – $d_{рег} = 12$ mm; $c_2 = 110$ kgf/cm;
line 3 – $d_{рег} = 7$ mm; $c_2 = 170$ kgf/cm*

Несмотря на полученные ранее выводы, при наличии попутной нагрузки входное давление в регуляторе, вопреки ожиданиям, растет пропорционально увеличению такой нагрузки. Более того, увеличение жесткости используемой пружины тоже способствует повышению входного давления, даже при одинаковых уровнях попутной нагрузки.

График (рис. 6) подтверждает подобные выводы, но при предположении, что взаимодействие регулируемого перепада давления с поршнем тормозной системы исключено, а сама площадь взаимодействия принимается равной нулю. Исследования показывают, что в подобной ситуации рабочее давление в гидросистеме с переменными характеристиками перестаёт зависеть от сопутствующей нагрузки и стабильно сохраняется постоянным, хотя его уровень по-прежнему обусловлен жесткостью установленной пружины.

Сопоставляя рабочие диапазоны попутных и противодействующих усилий, можно заметить,

вующего на поршень специального регулятора – гидравлического замка с возможностью отслеживания нагрузок и динамически меняющимся сопротивлением, зависящим от величины механической нагрузки на гидроцилиндр.

Анализ полученных кривых (рис. 5), показал, что в диапазоне отрицательных значений попутной нагрузки, которая на штоке гидроцилиндра является положительной, выходное давление гидронасоса остаётся стабильным вне зависимости от размера диаметра регулирующего золотника и жёсткости пружины. Положительные нагрузки на гидродвигатель указывают на то, что характеристики управляющего элемента не влияют на функционирование гидромеханической системы при изменении знака нагрузки.

что при обратной нагрузке все рассмотренные характеристики проявляют одинаковые закономерности поведения. Из этого следует вывод, что особенности конструкции и геометрии системы автоматического торможения не оказывают никакого влияния на работу гидропривода при нагрузке, затрудняющей выдвижение поршня гидроцилиндра. Такое явление обусловлено тем, что в указанном режиме тормозная система функционирует как обычный гидравлический замок открытого типа, не препятствуя свободному прохождению рабочей жидкости.

Вместе с тем в ситуации поддерживающей нагрузки наблюдается различие всех характеристик. Несмотря на такое расхождение при ограниченной площади контакта, величина входного давления остаётся минимальной и постоянной вне зависимости от действующей нагрузки, определяясь исключительно параметрами самой тормозной системы (например, как жёсткость пружин).

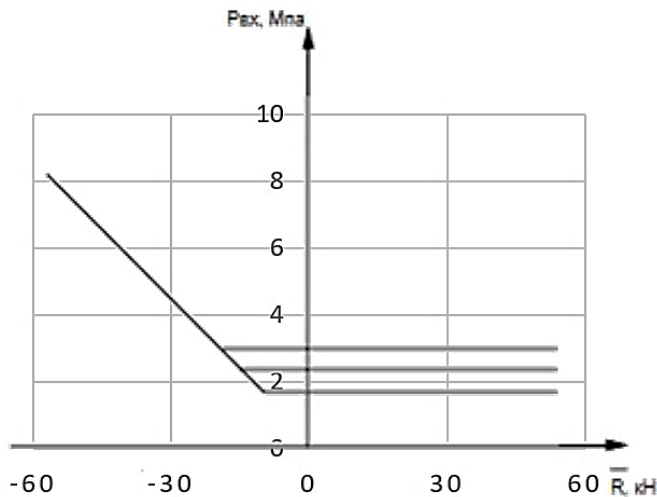


Рис. 6. Зависимость давления $P_{вх}$ от нагрузки \bar{R} при площади $F'_{рег} = 0$:
1 – $c_2 = 50$ кгс/см; 2 – $c_2 = 110$ кгс/см;
3 – $c_2 = 170$ кгс/см /

Fig. 6. Dependence of the inlet pressure $P_{вх}$ on the load \bar{R} at the regulator area $F'_{рег} = 0$: 1 – $c_2 = 50$ kgf/cm; 2 – $c_2 = 110$ kgf/cm; 3 – $c_2 = 170$ kgf/cm

Повышения энергетической эффективности гидросистем машин с переменным нагрузочным рабочим органом, оснащенных устройствами торможения следящего типа, можно достичь путем полного устранения площади, подверженной воздействию регулируемого перепада давления, и исключения влияния прочих факторов. Эта цель была реализована в конструкциях следящих тормозных систем золотникового исполнения. Альтернативным решением стало внесение изменений в конструкцию, позволяющих нейтрализовать влияние данной силы заменой традиционных золотниковых компонентов на плоские клапанные механизмы с компенсаторным штоком.

При смене направления приложенной к штоку гидроцилиндра внешней силы прежнее ограничение скорости исчезает, так как управляющий клапан стабилизационной системы остается полностью открытым. Это ведет к ускоренному движению штока и снижению давления в контрольной камере. Последующее уменьшение давления инициирует постепенное закрытие управляющего клапана стабилизатора, возвращая систему в режим регулировки. Особенностью предложенного варианта гидропривода является отсутствие характерных колебаний давления, присущих устройствам поворота.

Поэтому для наглядности результатов сравнительных испытаний рассматривался процесс работы гидропривода со знакопеременным нагружением. В качестве замедляющего устройства использовали типовой гидрозамок и стабилизирующее устройство следящего типа.

В результате экспериментального исследования системы со знакопеременным нагружением определено, что при первом режиме

нагружения встречная нагрузка на шток в середине хода изменяется на попутную.

Анализ полученной осциллограммы показывает, что гидрозамок нельзя использовать в качестве системы замедления. Ведь при изменении знака нагрузки гидрозамок закрывается, полностью останавливая шток гидроцилиндра, что в свою очередь вызывает повышение давления в системе, и так циклично. Таким образом, поршень гидроцилиндра перемещается рывками (рис. 7), преобладает пульсация с большой амплитудой давления рабочей жидкости на выходе гидронасоса.

На рисунке 8 представлена осциллограмма испытаний гидропривода, оснащённого стабилизирующим устройством при том же режиме нагружения. Отличительным является отсутствие заброса давления в момент начала движения штока, за счет того, что действие инерционных сил и активной нагрузки, препятствующее открытию запорного элемента, осуществляется по меньшей (приведенной) площади управляющего клапана стабилизирующего устройства. Далее характер кривых перемещения на рисунках 7 и 8 одинаков до момента изменения условий нагружения.

Проведенные исследования применительно к системам с переменной нагрузкой послужили основой для улучшения конструкций гидравлических приводов сельскохозяйственного оборудования, в частности, широко применяются обратимые стабилизирующие системы клапанного типа в системах позиционирования боковых секций широкозахватных культиваторов КШУ-12А, демонстрируя свою практическую значимость и высокие эксплуатационные качества.

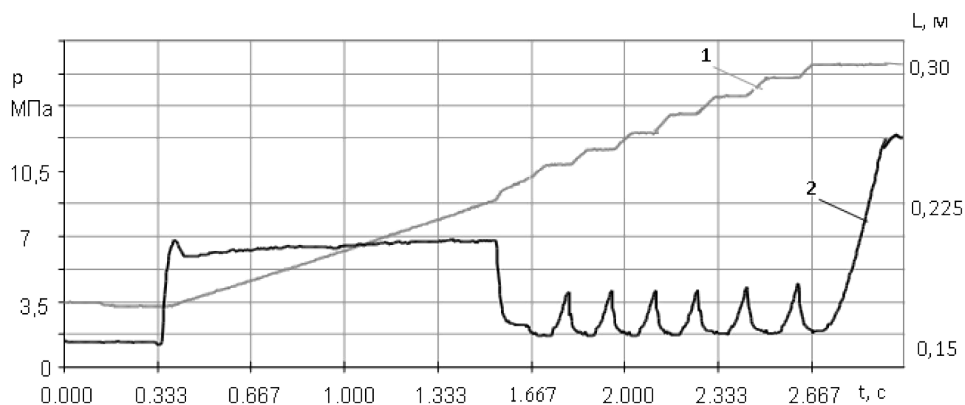


Рис. 7. Осциллограмма испытаний гидропривода с гидрозамком при первом режиме нагружения: 1 – текущее перемещение поршня ГЦ; 2 – давление в полости управления стабилизирующего устройства / Fig. 7. Oscillogram of hydraulic drive tests with a hydraulic lock under the first loading mode: 1 – current displacement of the hydraulic cylinder piston; 2 – pressure in the control chamber of the stabilizing device

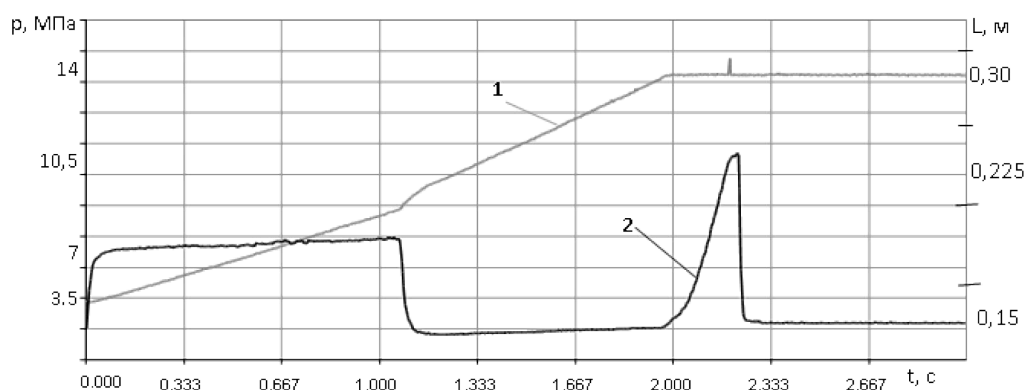


Рис. 8. Осциллограмма испытаний гидропривода, оснащённого стабилизирующим устройством, при первом режиме нагружения: 1 – текущее перемещение поршня ГЦ; 2 – давление в полости управления 11 / Fig. 8. Oscillogram of tests of the hydraulic drive equipped with a stabilizing device under the first loading mode: 1 – current displacement of the hydraulic cylinder piston; 2 – pressure in control chamber 11

Закключение. Таким образом, одним из путей решения проблем, связанных с появлением отрицательных (попутных) нагрузок, оказывающих негативное воздействие на производительность и надежность подачи рабочей жидкости, является моделирование систем приводов с автоматической компенсацией влияния попутных нагрузок на рабочие органы гидрофицированного оборудования. Методика исследования базировалась на математическом моделировании гидромеханических систем с изменяющейся нагрузкой, основанном на анализе силовых взаимодействий внутри гидроприводов. Результаты экспериментов подтверждают правильность предложенных моделей и определяют оптимальные конструктивные

решения для минимизации негативных последствий переменных нагрузок.

Применение автоматов разгрузки гидропривода с дифференциальным клапаном улучшает безопасность и энергетическую эффективность работы систем. Гидравлические замки следящего типа обеспечивают точное управление скоростью исполнительных механизмов, исключают резкие колебания давления и улучшают точность позиционирования рабочих органов. Полученные результаты имеют высокую прикладную ценность для инженеров-конструкторов и исследователей, занимающихся разработкой гидравлических систем управления, в частности, сельскохозяйственными машинами.

Список литературы

1. Szurgacz D., Borska B., Zhironkin S., Diederichs R., Spearing A J. S. Optimization of the Load Capacity System of Powered Roof Support: A Review. *Energies*. 2022;15(16):6061. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15166061>
2. Ahn J., Marcaida A. K., Lee Y., Jung J. Development of Test Equipment for Evaluating Hydraulic Conductivity of Permeable Block Pavements. *Sustainability*. 2018;10(7):2549. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10072549>

3. Yue D., Zuo X., Liu Z., Wei L., Sun J., Gao H. Simulation Analysis of a Novel Digital Pump with Direct Recycling of Hydraulic Energy. *Axioms*. 2023;12(7):696. DOI: <https://doi.org/10.3390/axioms12070696>
4. Zhang L., Fu W., Yuan X., Meng Zh. Research on Optimal Control of Excavator Negative Control Swing System. *Processes*. 2020;8(9):1096. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr8091096>
5. Рыбак А. Т., Пахомов В. И., Рудой Д. В., Ольшевская А. В., Теплякова С. В. Проектирование гидравлического привода прицепного очёсывающе-обмолачивающего агрегата. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2024;(203):354–365. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=77995947> EDN: ESPYEX
6. Berne L. J., Raush G., Roquet P., Gamez-Montero P.-J., Codina E. Graphic Method to Evaluate Power Requirements of a Hydraulic System Using Load-Holding Valves. *Energies*. 2022;15(13):4558. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15134558>
7. Padovani D., Hagen D., Schmidt L. A Self-Contained Electro-Hydraulic Cylinder with Passive Load-Holding Capability. *Energies*. 2019;12(2):292. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12020292>
8. Макаров Е. И., Корзников Е. П., Аваков А. А., Жданов А. М., Ромадин А. А. Тормозной гидравлический клапан: пат. №2056565 Российская Федерация. № 92015504/06: заяв. 30.12.1992; опубл. 20.03.1996. Бюл. №8. 4 с. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2056565C1/ru>
9. Маштаков А. П., Гусев А. В., Кожевникова Е. А. Математическое моделирование гидропривода подъема. *ВОЕНМЕХ. Вестник Балтийского государственного технического университета*. 2022;1:73–79.
10. Гимранов Э. Г., Мусина Л. С., Целищев В. А. Исследование системы торможения в гидравлическом приводе под действием попутной нагрузки. *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. 2014;18(1(62)):19–26. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21537232> EDN: SDHUCT
11. Peng Yu., Zhaoyue S., Naoli X., Yunyun R., Cao T. Design and Analysis of Brake-by-Wire Unit Based on Direct Drive Pump–Valve Cooperative. *Actuators*. 2023;12(9):360. DOI: <https://doi.org/10.3390/act12090360>
12. Liu H., Wei L., Liu H., Wu J., Li L. Brake Pressure Estimation of the Integrated Braking System Considering Vehicle Dynamics. *Actuators*. 2022;11(11):329. DOI: <https://doi.org/10.3390/act11110329>
13. Li C., Zhang J., Hou X., Ji Yu., Han J., He C., Hao I. A Novel Double Redundant Brake-by-Wire System for High Automation Driving Safety: Design, Optimization and Experimental Validation. *Actuators*. 2021;10(11):287. DOI: <https://doi.org/10.3390/act10110287>
14. Гусев А. В., Кожевникова Е. А. Сравнение типов торможения гидравлического привода при опускании объекта. *Аэрокосмическая техника и технологии*. 2023;1(1):85–104. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54352077> EDN: HPNQKA
15. Новосельцев А. А. Система управления гидроприводом. *Вестник науки*. 2021;3(12(45)):205–211. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47372477> EDN: BAVNIX
16. Lv L., Wang J., Long J. Interval Type-2 Fuzzy Logic Anti-Lock Braking Control for Electric Vehicles under Complex Road Conditions. *Sustainability*. 2021;13(20):11531. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132011531>
17. Рыбак А. Т., Мороз К. А., Вялов С. А., Пелипенко А. Ю., Гаранин Е. О. Автомат разгрузки гидропривода: пат. №2774541 Российская Федерация. № 2021132422: заяв. 09.11.2021; опубл. 21.06.2022. Бюл. № 18. 8 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
18. Христофоров Е. Н., Сакович Н. Е., Шкрабак Р. В., Шилин А. С., Шкрабак В. С. Теоретические исследования безопасности сельскохозяйственной техники, оснащённой гидравликой. *Вестник аграрной науки Дона*. 2023;16(2(62)):46–55. DOI: https://doi.org/10.55618/20756704_2023_16_2_46-55 EDN: DMYHBY

References

1. Szurgacz D., Borska B., Zhironkin S., Diederichs R., Spearing A J. S. Optimization of the Load Capacity System of Powered Roof Support: A Review. *Energies*. 2022;15(16):6061. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15166061>
2. Ahn J., Marcaida A. K., Lee Y., Jung J. Development of Test Equipment for Evaluating Hydraulic Conductivity of Permeable Block Pavements. *Sustainability*. 2018;10(7):2549. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10072549>
3. Yue D., Zuo X., Liu Z., Wei L., Sun J., Gao H. Simulation Analysis of a Novel Digital Pump with Direct Recycling of Hydraulic Energy. *Axioms*. 2023;12(7):696. DOI: <https://doi.org/10.3390/axioms12070696>
4. Zhang L., Fu W., Yuan X., Meng Zh. Research on Optimal Control of Excavator Negative Control Swing System. *Processes*. 2020;8(9):1096. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr8091096>
5. Ribak A. T., Pakhomov V. I., Rudoy D. V., Olshevskaya A. V., Teplyakova S. V. Design of the hydraulic drive of a trailed combing-threshing unit. *Politematicheskyy setevoy elektronny nauchny zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2024;(203):354–365. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=77995947>
6. Berne L. J., Raush G., Roquet P., Gamez-Montero P.-J., Codina E. Graphic Method to Evaluate Power Requirements of a Hydraulic System Using Load-Holding Valves. *Energies*. 2022;15(13):4558. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15134558>
7. Padovani D., Hagen D., Schmidt L. A Self-Contained Electro-Hydraulic Cylinder with Passive Load-Holding Capability. *Energies*. 2019;12(2):292. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12020292>
8. Makarov E. I., Korznikov E. P., Avakov A. A., Zhdanov A. M., Romadin A. A. Hydraulic brake valve: Patent RF, no. 2056565, 1996. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2056565C1/ru>
9. Mashtakov A. P., Gusev A. V., Kozhevnikova E. A. Mathematical modeling of hydraulic lifting drive. *VOENMEKH. Vestnik Baltiyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2022;1:73–79. (In Russ.).
10. Gimranov E. G., Musina L. S., Tselishchev V. A. The braking system research in hydraulic circuit. *Vestnik Ufmskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta* = Vestnik USAU. 2014;18(1(62)):19–26. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21537232>

11. Peng Yu., Zhaoyue S., Haoli X., Yunyun R., Cao T. Design and Analysis of Brake-by-Wire Unit Based on Direct Drive Pump–Valve Cooperative. *Actuators*. 2023;12(9):360. DOI: <https://doi.org/10.3390/act12090360>
12. Liu H., Wei L., Liu H., Wu J., Li L. Brake Pressure Estimation of the Integrated Braking System Considering Vehicle Dynamics. *Actuators*. 2022;11(11):329. DOI: <https://doi.org/10.3390/act11110329>
13. Li C., Zhang J., Hou X., Ji Yu., Han J., He C., Hao I. A Novel Double Redundant Brake-by-Wire System for High Automation Driving Safety: Design, Optimization and Experimental Validation. *Actuators*. 2021;10(11):287. DOI: <https://doi.org/10.3390/act10110287>
14. Gusev A. V., Kozhevnikova E. A. Comparison of hydraulic drive braking methods in lowering an object. *Aerokosmicheskaya tekhnika i tekhnologii = Aerospace Engineering and Technology*. 2023;1(1):85–104. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54352077>
15. Novoseltsev A. A. Hydraulic drive control system. *Vestnik nauki*. 2021;3(12(45)):205–211. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47372477>
16. Lv L., Wang J., Long J. Interval Type-2 Fuzzy Logic Anti-Lock Braking Control for Electric Vehicles under Complex Road Conditions. *Sustainability*. 2021;13(20):11531. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132011531>
17. Ribak A. T., Moroz K. A., Vyalov S. A., Pelipenko A. Yu., Garanin E. O. Automatic hydraulic drive unloading: Patent RF, no. 2774541. 2022. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
18. Khristoforov E. N., Sakovich N. E., Shkrabak R. V., Shilin A. S., Shkrabak V. S. Theoretical studies of the safety of agricultural machinery equipped with hydraulics. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2023;16(2(62)):46–55. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.55618/20756704_2023_16_2_46-55

Сведения об авторах

Рыбак Александр Тимофеевич, доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции агропромышленного комплекса», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344000, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9950-3377>

Рудой Дмитрий Владимирович, доктор техн. наук, доцент, декан факультета «Агропромышленный»; руководитель Центра развития территориального кластера «Долина Дона»; доцент кафедры «Техника и технология пищевых производств», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344000, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1916-8570>

Ольшевская Анастасия Владимировна, кандидат техн. наук, заместитель декана факультета «Агропромышленный»; заместитель руководителя Центра развития территориального кластера «Долина Дона»; доцент кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции агропромышленного комплекса», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344000, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8318-3938>

✉ **Теплякова Светлана Викторовна**, кандидат техн. наук, заместитель декана факультета «Агропромышленный»; старший научный сотрудник Центра развития территориального кластера «Долина Дона»; доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344000, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4245-1523>, e-mail: svet-tp@yandex.ru

Пруцков Алексей Сергеевич, аспирант 1-го года обучения, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344000, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8999-2960>

Information about the authors

Alexander T. Rybak, DSc in Engineering, professor, professor at the Department “Technologies and Equipment for Processing Agricultural Products”, Don State Technical University, Gagarin Sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation, 344000, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9950-3377>

Dmitry V. Rudoy, DSc in Engineering, associate professor, Dean of the Faculty of Agro-Industrial Engineering, Head of the Center for the Development of the “Dolina Dona” Territorial Cluster, associate professor at the Department of Food Production Engineering, Don State Technical University, Gagarin Sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation, 344000, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1916-8570>

Anastasiya V. Olshevskaya, PhD in Engineering, Deputy Dean of the Faculty of Agro-Industrial Engineering, Deputy Head of the Center for the Development of the “Dolina Dona” Territorial Cluster; associate professor at the Department “Technologies and Equipment for Processing Agricultural Products”, Don State Technical University, Gagarin Sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation, 344000, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8318-3938>

✉ **Svetlana V. Teplyakova**, PhD in Engineering, Deputy Dean of the Faculty of Agro-Industrial Engineering, senior researcher, the Center for the Development of the “Dolina Dona” Territorial Cluster; associate professor at the Department “Operation of Transport Systems and Logistics”, Don State Technical University, Gagarin Sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation, 344000, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4245-1523>, e-mail: svet-tp@yandex.ru

Alexey S. Prutskov, 1st year postgraduate student, Don State Technical University, Gagarin Sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation, 344000, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4245-1523>

✉ – Для контактов / Corresponding author

