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 27
№ 1
2026

Vol. 27
No. 1
2026

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Научный журнал основан в 2000 г. **Том 27, № 1, 2026**

Периодичность 6 раз в год Префикс DOI: 10.30766

© Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

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

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

Регистрационный номер ПИ №ФС77-72290 от 01.02.2018 г.

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

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

Рубрики журнала:

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

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

(cc) BY

Главный редактор – Сысуев 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 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
Джавадов Эдуард Джавадович	д.в.н., заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, профессор кафедры эпизоотологии им. В. П. Урбана ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», г. Санкт-Петербург, Россия
Дидманидзе Отари Назирович	д.т.н., профессор, академик РАН, 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 кафедры физиологии, биохимии животных и акушерства ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия
Иванов Дмитрий Анатольевич	д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель – филиала ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Тверь, Россия
Казакевич Пётр Петрович	д.т.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, зам. председателя Президиума НАН Беларуси, иностранный член РАН, г. Минск, Республика Беларусь
Клыков Алексей Григорьевич	д.б.н., профессор РАН, академик РАН, зав. отделом селекции и биотехнологии сельскохозяйственных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», г. Уссурийск, Россия
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 ФГБУН «Санкт-Петербургский ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия
Куликов Иван Михайлович	д.э.н., профессор, академик РАН, 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 ФГБУН «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 ФГБУН «Санкт-Петербургский ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия
Пашкина Юлия Викторовна	д.в.н., профессор, и.о. зав. кафедрой эпизоотологии, паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия

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

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

Полные тексты статей доступны на сайтах электронных научных библиотек: eLIBRARY.RU: http://elibrary.ru; ЭНСХБ: http://www.cnshb.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

Третье фото на первой странице обложки А. Широких, на четвертой странице обложки фото В. Малишевского.

Подписано к печати 27.02.2026
Дата выхода в свет 05.03.2026
Формат 60x84$^{1/8}$.
Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 29,06.
Тираж 100 экз. Заказ 5.
Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета
Адрес типографии:
ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока
610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а

Савченко Иван Васильевич — д.б.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела растительных ресурсов, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», г. Москва, Россия

Самоделкин Александр Геннадьевич — д.б.н., профессор, руководитель аграрно-экологического направления АНО «Нижегородский научно-образовательный центр», г. Нижний Новгород, Россия

Титова Вера Ивановна — д.с.-х.н., заслуженный деятель науки РФ, профессор, зав. кафедрой агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия

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

Урбан Эрома Петрович — 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

Широких Ирина Геннадьевна — д.б.н., главный научный сотрудник, зав. лабораторией биотехнологии растений и микроорганизмов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Щенникова Ирина Николаевна — 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

Changzhong Ren — Почетный президент Байченской академии сельскохозяйственных наук (КНР), иностранный член РАН, г. Байчен, Китай

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

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

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

Poutanen Kaisa — профессор VTT технического исследовательского центра Финляндии, г. Эспоо, Финляндия

Romaniuk Wazlaw — д.т.н., профессор, Технолого-природоведческий институт, г. Варшава, Польша

Yu Li — профессор, научный руководитель Цзилинского аграрного университета, иностранный член РАН, член инженерной академии наук Китая, г. Чанчунь, Китай

Редакционная коллегия

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

Артемьев Андрей Александрович — д.с.-х.н., доцент, ведущий научный сотрудник, директор Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, Россия

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

Бурков Александр Иванович — д.т.н., профессор, заслуженный изобретатель РФ, главный научный сотрудник лаборатории зерно- и семяочистительных машин ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

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

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

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

Парлюк Екатерина Петровна — д.т.н., профессор кафедры «Колесные машины» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана», г. Москва, Россия

Рябова Ольга Вениаминовна — к.б.н., доцент кафедры микробиологии ФГБОУ ВО «Пермская государственная фармацевтическая академия», г. Пермь, Россия

Савельев Александр Павлович — 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

Товстик Евгения Владимировна — 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

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

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

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

Agricultural Science Euro-North-East, 2026;27(1)

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Peer-reviewed scientific journal was established in 2000

The journal is published six times per year. DOI: 10.30766

© **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 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 at the Department of Physiology, Animal Biochemistry and Obstetrics, Breeding of Farm Animals and Obstetrics of Nighny 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
Aleksey G. Klykov	Dr. of Sci. (Biology), Professor of RAS, Academician of RAS, Head of the Department of Breeding and Biotechnology of Agricultural Crops, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Russia
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 Agroecologi, 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, 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 Nighny 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, Whitelist

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

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

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

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

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

www. agronauka-sv.ru

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

Technical edition, layout
Irina V. Kodochigova

Cover layout
Natalia N. Soboleva

The third photo is on the first page of the cover. A. Shirokikh, on the fourth page of the cover. V. Malishevsky.

Passed for printing
27.02.2026
Date of publication
05.03.2026
Format 60x84$^{1/8}$. Offset paper.
Cond. pecs. l. 29.06.
Circulation 100 copies. Order 5.
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 Nighny 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 Honorary 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

Ekaterina P. Parlyuk Dr. of Sci. (Engineering), professor at the Department of Wheeled Vehicles, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 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

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

Н. В. Гулаева, А. Л. Бакунов, А. В. Милехин, С. Л. Рубцов, А. А. Вязовой
Состояние и перспективы селекции картофеля с высокой антиоксидантной активностью в России и мире (обзор)…….. 7

А. А. Зеленченкова, Н. С. Колесник, П. Д. Лахонин, А. И. Богомолов
Состояние и проблемы развития пухового козоводства России на примере оренбургской породы (обзор)…….. 25

А. В. Прусаков, М. С. Голодяева, В. С. Понамарёв
Особенности метаболизма желчных кислот у рыб и их биологическое значение (обзор)…….. 41

С. А. Масловский, И. Г. Голубев, К. Ю. Цыганкова
Технологии обращения с навозом и пометом, направленные на снижение эмиссии парниковых газов (обзор)…….. 53

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

И. В. Варганова, В. И. Горшков, Н. В. Лебедева, А. Г. Дубовская
Изменчивость хозяйственно ценных признаков сорта яровой сурепицы ‘Липчанка’ в условиях Северо-Запада России….. 66

Е. М. Чеботок
Отбор сортообразцов черной смородины на пригодность к механизированной уборке урожая в условиях Среднего Урала……. 76

Н. В. Невкрытая, Е. Н. Дунаева, О. М. Золотилова, Е. Н. Грунина, С. И. Кривда, Н. С. Кривчик, В. К. Тохтарь, А. В. Дунаев
Изучение перспективности возделывания фенхеля обыкновенного в Белгородской области…… 84

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Я. О. Козелец, И. О. Шестопалов, О. В. Акиншина, Г. И. Шестопалов, Д. В. Володин, Н. Н. Шестопалова, Л. С. Бондаренко, А. В. Петренко, А. П. Ащеулова
Анализ реологических свойств сортов озимой мягкой пшеницы…… 95

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

А. И. Иванов, Ж. А. Иванова
Отзывчивость гороха посевного на некорневую подкормку йодистым калием в условиях Северо-Запада России…….. 107

Е. Н. Носкова, Е. М. Лисицын
Генотипические различия реакции пигментного комплекса листьев ярового ячменя на некорневую подкормку азотом….. 117

Н. В. Тютюма, А. Н. Бондаренко
Продуктивность сортов картофеля при использовании биоактивных препаратов на орошаемых почвах Северо-Западного Прикаспия…….. 129

ЗООТЕХНИЯ

Т. С. Романец, С. Ю. Бакоев, Е. А. Романец, М. А. Колосова, О. Н. Луконина, Н. В. Башмакова, В. Ф. Ахмедли, Л. В. Гетманцева
Определение породоспецифичных SNP для генетической оценки дифференциации коммерческих пород свиней…….. 140

М. А. Барсукова, К. Н. Нарожных, О. А. Иванова
Сравнительная оценка содержания минеральных веществ в крови коров и нетелей герефордской породы в смежных поколениях……. 154

И. С. Недашковский, А. Ф. Контэ, А. А. Сермягин, Д. Н. Кольцов, В. В. Волкова
Причины выбытия коров в зависимости от уровня гомозиготности и геномного инбридинга отцов…… 164

О. В. Тулинова, Е. А. Романова, В. В. Березина, А. И. Токарев, А. А. Сермягин
Оценка рисков проявления недостатков экстерьера вымени у коров айрширской породы с применением метода BLUP AM……. 178

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

Ю. О. Лящук, О. В. Евдокимова, А. И. Новак, О. А. Захарова, А. В. Санкин
Сравнительный анализ антибактериальной активности масел из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи…… 190

А. З. Брандорф, Ю. А. Злобина, Е. В. Дягилева
Эффективность применения муравьиной кислоты для профилактики и лечения тропилелапсоза в семьях *Apis mellifera* L…. 198

ЗВЕРОВОДСТВО. ОХОТОВЕДЕНИЕ

И. А. Гребнев
Трансформация института государственного регулирования и обеспечение устойчивости охотничьего природопользования……. 208

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

Д. А. Москвичев
Разработка нейросетевой модели на Python для прогнозирования урожайности картофеля в условиях ограниченного объема данных……. 219

С. Л. Дёмшин, М. В. Симонов, К. С. Дёмшин
Результаты исследования бороздовскрывателя дернинной сеялки, оборудованного демпферными устройствами…….. 230

Э. В. Васильев, В. И. Базыкин, Е. В. Шалавина, С. А. Егоров
Изменение концентрации климатически активных веществ в эмиссии от систем переработки различных видов жидкого навоза…….. 240

CONTENTS

REVIEWS

Nadezhda V. Gulaeva, Alexey L. Bakunov, Alexey V. Milekhin, Sergey L. Rubtsov, Artiom A. Vyazovoy
The state and prospects of breeding potato with high antioxidant activity in Russia and in the world (review)……. 7

Alyona A. Zelenchenkova, Nikita S. Kolesnik, Pavel D. Lakhonin, Anton I. Bogomolov
The state and problems of the development of downy goat breeding in Russia on the example of the Orenburg breed (review)….. 25

Alexey V. Prusakov, Maria S. Golodyaeva, Vladimir S. Ponamarev
Features of bile acid metabolism in fish and their biological significance (review)…… 41

Sergey A. Maslovsky, Ivan G. Golubev, Kseniya Yu. Tsygankova
Manure and litter handling technologies aimed at reducing greenhouse gas emissions (review)…… 53

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

Irina V. Varganova, Vladimir I. Gorshkov, Natalia V. Lebedeva, Alexandra G. Dubovskaya
Variability of agronomic traits of the 'Lipchanka' spring turnip rape cultivar in the conditions of the North-West of Russia…. 66

Elena M. Chebotok
Selection of blackcurrant accessions for suitability for mechanized harvesting in the conditions of the Middle Urals……. 76

Natalia V. Nevkrytaya, Elena N. Dunaeva, Olga M. Zolotilova, Elena N. Grunina, Svetlana I. Krivda, Nina S. Krivchik, Valeriy K. Tokgtar, Alexander V. Dunaev
Studying the prospects of fennel cultivation in the Belgorod region……... 84

STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

Yana O. Kozelets, Igor O. Shestopalov, Olga V. Akinshina, Georgy I. Shestopalov, Dmitry V. Volodin, Natalia N. Shestopalova, Lyudmila S. Bondarenko, Alexander V. Petrenko, Anna P. Ashcheulova
Analysis of rheological properties of common winter wheat cultivars…… 95

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

Aleksey I. Ivanov, Zhanna A. Ivanova
Pea response to foliar application of potassium iodide in North-Western Russia…….. 107

Eugeniya N. Noskova, Eugene M. Lisitsyn
Genotypic differences in the response of spring barley leaf pigment complex to foliar nitrogen application…… 117

Natalia V. Tyutyuma, Anastasia N. Bondarenko
Productivity of potato cultivars under the use of bioactive preparations on irrigated soils of the North-Western Caspian region…. 129

ZOOTECHNY

Timofey S. Romanets, Sirozhdin Y. Bakoev, Elena A. Romanets, Maria A. Kolosova, Olga N. Lukonina, Natalia V. Bashmakova, Vagif F. Akhmedli, Lyubov V. Getmantseva
Identification of breed-specific SNPs for genetic assessment of differentiation of commercial pig breeds…… 140

Maria A. Barsukova, Kirill N. Narozhnykh, Oksana A. Ivanova
Comparative assessment of the mineral content in the blood of cows and heifers of the Hereford breed in adjacent generations…… 154

Igor S. Nedashkovsky, Aleksandr F. Konte, Aleksandr A. Sermyagin, Dmitry N. Koltsov, Valeria V. Volkova
Reasons for the culling of cows depending on the level of homozygosity and genomic inbreeding of fathers…….. 164

Olga V. Tulinova, Elena A. Romanova, Valentina V. Berezina, Alexander I. Tokarev, Alexander A. Sermyagin
Risk assessment of udder exterior defects in Ayrshire cows using the BLUP AM method…… 178

VETERINARY MEDICINE 208

Yulia O. Lyashchuk, Olga V. Evdokimova, Alexandra I. Novak, Olga A. Zakharova, Anton V. Sankin
Comparative analysis of the antibacterial activity of oils from ungurahui fruit, kukui nut, and black cumin seeds……... 190

Anna Z. Brandorf, Yulia A. Zlobina, Elena V. Diaghileva
The effectiveness of formic acid for the prevention and treatment of Tropilelapsosis in *Apis mellifera* L. colonies……. 198

FUR FARMING AND HUNTING

Ivan A. Grebnev
Transformation of the institution of state regulation and ensuring the sustainability of hunting nature management…… 208

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

Dmitry A. Moskvichev
Developing a Python neural network model for potato yield forecasting with limited data…….. 219

Sergey L. Demshin, Maksim V. Simonov, Konstantin S. Demshin
Results of the study of a sod seeder furrow opener equipped with damping devices……. 230

Eduard V. Vasilev, Valentin I. Bazykin, Ekaterina V. Shalavina, Semen A. Egorov
Variation in concentration of climate-active substances in emissions from different types of liquid manure processing systems… 240

ОБЗОРЫ/REVIEWS

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.7–24
УДК 635.21:631.524.6

(cc) BY

Состояние и перспективы селекции картофеля с высокой антиоксидантной активностью в России и мире (обзор)

© 2026. Н. В. Гулаева, А. Л. Бакунов✉, А. В. Милехин, С. Л. Рубцов, А. А. Вязовой
ФГБУН Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Самара, Российская Федерация

Цель обзора – провести анализ результатов научных исследований по влиянию на здоровье человека антиоксидантной активности картофеля, рассмотреть современные подходы к селекции картофеля с высокой антиоксидантной активностью. Картофель с ярко окрашенной кожурой и мякотью клубней является источником важнейших природных антиоксидантов (антоцианы, каротиноиды, фенольные соединения, витамины и т. д.). Потребление антиоксидантов с пищей на регулярной основе защищает человека от преждевременного старения, снижает риск ишемической болезни сердца, замедляет атеросклеротические процессы, предупреждает сердечно-сосудистые заболевания, сахарный диабет, язву двенадцатиперстной кишки, артрит, ожирение, патологии зрения, различные виды рака и многие другие заболевания, а также эффективно укрепляет иммунитет. С применением современных молекулярно-генетических подходов в селекции картофеля содержание антиоксидантов можно повысить в несколько раз (до 2000–4000 мк/кг). Основой для такой селекции служат преимущественно южноамериканские формы с высоким содержанием антоцианов и каротиноидов. Повышение эффективности селекции по признакам окраски мякоти клубня (красная, синяя или фиолетовая) соотносят с разработкой ДНК-маркеров для выявления аллелей ключевых генов биосинтеза антоцианов, который у картофеля контролируется преимущественно транскрипционным комплексом MYB-bHLH-WD40 (MBW). С данным признаком связывают два основных гена StAN1 и StF3′5′H и следующие ферменты: халконсинтазы (CHS); халконфлаванонизомеразы (CHI); дигидрофлавонол-4-редуктазы (DFR); флавонон-3-гидроксилазы (F3H); флавоноид-3′-гидроксилазы (F3′H); флавоноид-3′,5′-гидроксилазы (F3′5′H); антоцианидинсинтазы (ANS). Прогресс в области изучения молекулярных механизмов антоциановой пигментации, а также развитие современных молекулярно-генетических методов в значительной степени позволят облегчить многие задачи селекционного процесса при создании сортов картофеля с повышенным содержанием антиоксидантов.

Ключевые слова: *антиоксиданты, селекция картофеля, антоцианины, флавоноиды, фенольные кислоты, каротиноиды*

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Самарский федеральный исследовательский центр РАН (тема № FMRW-2025-0015).
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Гулаева Н. В., Бакунов А. Л., Милехин А. В., Рубцов С. Л., Вязовой А. А. Состояние и перспективы селекции картофеля с высокой антиоксидантной активностью в России и мире (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):7–24. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.7-24

Поступила: 11.08.2025 Принята к публикации: 26.01.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

The state and prospects of breeding potato with high antioxidant activity in Russia and in the world (review)

© 2026. Nadezhda V. Gulaeva, Alexey L. Bakunov✉, Alexey V. Milekhin, Sergey L. Rubtsov, Artiom A. Vyazovoy
Samara Federal Research Scientific Center of Russian Academy of Sciences, г. Самара, Российская Федерация

The purpose of the review is to analyze the results of scientific research on the effect of antioxidant activity of potatoes on human health, to consider modern approaches to breeding potato with high antioxidant activity. Potato with brightly colored peel and tuber flesh is a source of the most important natural antioxidants (anthocyanins, carotenoids, phenolic compounds, vitamins, etc.). The consumption of antioxidants with food on a regular basis protects a person from premature aging, reduces the risk of coronary heart disease, slows down atherosclerotic processes, prevents cardiovascular diseases, diabetes mellitus, duodenal ulcer, arthritis, obesity, visual pathologies, various types of cancer and many other diseases, and also effectively strengthens the immune system. With the use of modern molecular genetic approaches in potato breeding the content of antioxi-

dants can be increased several times (up to 2000–4000 mk/kg). The bases for such breeding are mainly South American forms with high content of anthocyanins and carotenoids. An increase in the efficiency of breeding based on the color of tuber flesh (red, blue, or violet) is correlated with the development of DNA markers to identify alleles of key genes of anthocyanin biosynthesis. The biosynthesis of anthocyanins in potatoes is mainly controlled by the MYB-bHLH-WD40 (MBW) transcription complex. Two main genes are associated with this trait StAN1 and StF3′5′H and the following enzymes: chalcon synthase (CHS); chalconlavanone isomerase (CHI); dihydroflavonol-4-reductases (DFR); flavonone-3-hydroxylases (F3H); flavonoid-3′-hydroxylases (F3'H); flavonoid-3′,5′-hydroxylases (F3′5′H); anthocyanidin synthases (ANS). Progress in the study of the molecular mechanisms of anthocyanin pigmentation, as well as the development of modern molecular genetic methods, will greatly facilitate many tasks of the breeding process when creating potato cultivars with a high content of antioxidants.

Keywords: *antioxidants, potato breeding, anthocyanins, flavonoids, phenolic acids, carotenoids*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in accordance with the State Research Plans of the Samara Federal Research Scientific Center RAS (theme No. FMRW-2025-0015).

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: Gulaeva N. V., Bakunov A. L., Milekhin A. V., Rubtsov S. L., Vyazovoy A. A. The state and prospects of breeding potato with high antioxidant activity in Russia and in the world (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):7–24. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.7-24

Received: 11.08.2025 Accepted for publication: 26.01.2026 Published online: 27.02.2026

В настоящее время в селекционных программах картофеля все бóльшее внимание уделяется повышению качества, диетической ценности картофеля и продуктов его переработки. Это связано с необходимостью улучшения качества питания человека – снижение калорийности пищи и увеличение содержания полноценного белка, витаминов, минералов, антиоксидантов и т. д. [1, 2, 3].

Начиная с 90-х годов, в нашей стране и во всем мире проводятся обширные исследования по определению антиоксидантных свойств различных растительных объектов, как наиболее перспективных источников антиоксидантов [4, 5, 6].

Внимание ученых привлекает картофель с цветной окраской мякоти клубней (темно-синей, фиолетовой, ярко-красной, ярко-розовой), который обладает ценным биохимическим составом и содержит большое количество антиоксидантов [1, 3, 7].

Антиоксиданты – это вещества, ингибирующие окисление органических соединений. Они нейтрализуют свободные радикалы и другие активные формы кислорода, образующиеся в результате клеточного метаболизма. Свободные радикалы – нестабильные химические частицы, имеющие в своей структуре неспаренные электроны. Активно взаимодействуют с другими атомами и молекулами клетки для захвата недостающего электрона. В результате частица с отобранным электроном сама превращается в свободный радикал, запуская цепную реакцию. Процесс окисления быстро нарастает, повреждаются клетки и их компоненты (ДНК, РНК, белки, липиды, митохондрии), возникает оксидативный стресс, т. е. состояние, при котором в организме образуется слишком много свободных радикалов. Антиоксидантные молекулы поставляют недостающие электроны для активных форм кислорода и, таким образом, нормализуют баланс окислительно-восстановительных реакций [4, 5, 8].

Антиоксиданты замедляют процессы старения, улучшают внешний вид и здоровье кожи, поддерживают общий иммунитет, служат для профилактики заболеваний сердца и сосудов, помогают в борьбе с сахарным диабетом, избыточным весом, онкологическими заболеваниями, гипертонией и многими другими [3, 4, 5].

По различным данным [3, 7, 9], картофель с яркой синей, фиолетовой или красной окраской мякоти клубней обладает до 5 раз бóльшей антиоксидантной активностью, чем белый или желтый аналоги. Наибольшее содержание антиоксидантов отмечается в яркоокрашенной кожуре картофеля, при этом наибольшее значение имеет повышенное содержание антиоксидантов в мякоти клубней этой важнейшей производственной культуры [2, 10].

Устойчивость к болезням и высокая адаптивность картофеля с яркоокрашенной кожурой и мякотью к различным климатическим условиям позволили ему развиваться в течение тысячелетий. Сегодня культуру активно выращивают в Северной и Южной Америке, Канаде, а также по всей Европе и Азии. Российские селекционеры цветным картофелем начали заниматься совсем недавно – с начала 2000-х годов, но первые упоми-

нания о нем были обнаружены еще в XIX веке (в каталоге Грачева, 1896 г.). Сейчас существует несколько десятков сортов цветного картофеля как российской, так и зарубежной селекции [11, 12, 13].

Доказано, что клубни картофеля синей, фиолетовой или ярко-розовой окраски эффективнее усваивают азот и фосфор из почвы, лучше приспосабливаются к неблагоприятным условиям среды (избыточному УФ-излучению, засухе, засолению почвы) по сравнению с белыми и желтыми клубнями. Они более устойчивы к грибным заболеваниям, меньше поражаются мокрой гнилью и проявляют широкую антимикробную активность. Это обусловлено тем, что в зоне инфицирования происходит локальное окисление фенольных соединений (антоцианов) с последующей программируемой гибелью клеток (реакция сверхчувствительности) [2].

Таким образом, создание сортов картофеля, обладающих антиоксидантными свойствами, имеет важное значение, так как способствует распространению ценного продукта среди различных слоев населения и его использованию в лечебно-профилактических целях [5, 7, 14].

Цель обзора – провести анализ результатов научных исследований по влиянию на здоровье человека антиоксидантной активности картофеля, рассмотреть современные подходы к селекции картофеля с высокой антиоксидантной активностью**.**

Материал и методы. Для написания работы использовали публикации в специализированных изданиях, интернет-источниках и научных библиотеках в период с 1998 по 2024 г. Поиск научных статей осуществляли путем мониторинга следующих электронных библиотечных систем: eLIBRARY.RU, CYBERLENINKA.RU, СЭБиЗ (сельскохозяйственная электронная библиотека знаний), AgriLib. В работе использованы сравнение (эмпирический метод), анализ и синтез (комплексно-комбинированные методы).

Основная часть. *Антиоксиданты, их значение в питании человека.* В последние годы мировое научное сообщество все больше подчеркивает важность питания в подавлении и профилактике различных заболеваний, а также улучшении состояния человека. Большое внимание стали уделять фитохимическому составу растений, так как одной из причин многих заболеваний является недостаточно высокое качество питания и значительный дефицит ценных питательных веществ (витаминов, минералов, различных групп флавоноидов и т. д.), обладающих важными антиоксидантными свойствами [1, 11, 12].

Антиоксиданты подразделяют на три основные группы:

1. Ферментные: супероксиддисмутаза (СОД), каталаза и глутатионпероксидазы.

2. Природные: витамины (А, С, Е), флавоноиды (пигменты растений), фенольные кислоты, танин, микроэлементы (селен, медь, марганец, цинк).

3. Синтетические (искусственные): пробукол, дибунол, диметилсульфоксид, соединения селена.

Среди них самыми сильными считаются природные антиоксиданты – флавоноиды (антоцианы), каротиноиды, фенольные кислоты, лигнаны, витамины (С, Е, провитамин А), микроэлементы (селен) и другие [1]. Важно отметить, что в организме человека они практически не синтезируются, поступают только с пищей [13].

Антиоксиданты являются неотъемлемой частью здорового и полноценного питания наряду с важнейшими макро- и микронутриентами. Потребление антиоксидантов с пищей на регулярной основе защищает человека от множества опасных болезней, преждевременного старения, а также эффективно укрепляет иммунитет [1, 8, 13].

Таким образом, антиоксиданты поддерживают природный баланс в организме человека и выполняют множество функций:

- прерывают цепную реакцию окисления, нейтрализуя свободные радикалы кислорода;
- защищают нервные рецепторы и ткани, клеточные оболочки и другие структуры внутри клетки от повреждений;
- поддерживают работу ДНК, РНК, снижают риск мутаций;
- помогают восстанавливаться другим антиоксидантам;
- ингибируют накопление холестерина в сыворотке крови;
- снижают риск ишемической болезни сердца, значительно замедляют атеросклеротические процессы, предупреждают сердечно-сосудистые заболевания, сахарный диабет, язву двенадцатиперстной кишки, артрит, ожирение, патологии зрения, различные виды рака и многие другие заболевания [2, 12, 14].

Картофель, как одна из наиболее распространенных и экономически значимых сельскохозяйственных культур, приобретает особую актуальность в контексте создания сортов с повышенной питательной ценностью [15]. Научными исследованиями [11, 12] показано, что антиоксиданты картофеля с пигментированной мякотью клубней эффективно подавляют вредное воздействие избыточного содержания в биологических жидкостях человека свободных радикалов и реакционных кислородных и азотных соединений. В работах [3, 9, 10] отмечено, что картофель с пурпурной окраской клубня обладает гипотензивными свойствами и способен снизить риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и инсульта у пациентов с гипертонией. В обзоре [16] отмечается, что экстракты из картофеля защищают от повреждений печень и предотвращают окислительный стресс эритроцитов. Исследования на крысах показали, что потребление порошка из мякоти картофеля пурпурного цвета способствовало снижению содержания липидов в крови у животных с диабетом, а также нормализации уровня холестерина, инсулина и глюкозы в сыворотке крови [17]. Другое исследование на крысах продемонстрировало, что экстракт из картофеля может замедлять развитие рака молочной железы [18]. Также предполагается, что полифенолы, содержащиеся в мякоти пигментированного картофеля, могли бы способствовать снижению уровня оксидативного стресса и воспалительных процессов у людей [17, 19].

В обзоре [20] описано антиоксидантное, антипролиферативное гиполипидемическое, гипотензивное действия картофельного сока. Показано также положительное влияние компонентов картофельного сока на процессы пищеварения, микробиоту кишечника, содержание инсулина и глюкагоноподобного пептида-1 в сыворотке крови.

Сбалансированное по своему составу и качественное питание защищает наше здоровье тем, что усиливает естественные защитные силы организма, созданные природой, за счет таких систем, как антиоксидантная и иммунная [11, 14, 16].

Химический состав картофеля. Особенности биохимического состава клубней картофеля с пигментированными кожурой и мякотью. По содержанию всех питательных веществ картофель, несомненно, один из самых сбалансированных продуктов питания, источник длинных углеводов, многих витаминов, минералов, ценного крахмала и прочих веществ [1, 21]. К недостаткам можно отнести высокое содержание калорий и углеводов, совсем малое – клетчатки и жиров. Информация о составе картофеля, условиях его выращивании и переработки отражена в работах [12, 14, 22, 23].

В настоящее время состав картофеля хорошо известен, однако он сильно колеблется в зависимости от генетики (сорта), условий выращивания, окружающей среды, почвы, зрелости клубней, сроков и условий хранения [21, 24].

По различным данным [3, 7, 12], в зависимости от сорта, в клубнях картофеля содержится в среднем 15–35 % сухого вещества, 12–29 % крахмала, 1-2 % белка (в новых отечественных сортах Индиго, Фиолетовый – до 3,2 %), около 1 % минеральных соединений, 0,2–0,4 % редуцирующих сахаров, до 25 мг/100 г витамина С.

Картофель содержит мало жиров (менее 0,1 %), холестерина (в свежем виде процентное содержание холестерина близко к нулю) и клетчатки (1-2 %). Среди корнеплодов – самый богатый источник белка с ценным составом незаменимых аминокислот (таких как метионин, валин, лизин, фенилаланин, триптофан, лейцин, изолейцин, треонин, которые не синтезируются в организме человека и животных). Крахмал в картофеле двух типов полимеров глюкозы: высоко разветвленный амилопектин (70–80 % от общего содержания крахмала) и линейная амилоза (20–30 %) [1, 14, 21].

Картофель – источник витаминов, полезных для человека, особенно водорастворимых, содержание которых в клубнях подвергается большим колебаниям. Особое значение имеет относительно высокое содержание витамина С [25, 26]. При ежедневном употреблении 200 г картофеля можно удовлетворить 70 % суточной потребности в витамине С, в В1 – на 20 % (0,08 мг/100 г), В2 – на 8 % (0,04 мг/100 г), В6 – на 36 % (0,24 мг/100 г), В9 – на 12 % (0,007 мг), пантотеновой кислоте – на 16 % [27, 28].

В состав картофеля также входит значительное количество калия, магния, фосфора, кальция, натрия и других микроэлементов. При ежедневном употреблении 200 г картофеля можно удовлетворить 30 % дневной нормы потребности человека в калии, 20 % – в магнии, 17 % – в фосфоре, 15 % – в меди, 14 % – в железе, 13 % – в марганце, 8 % – в натрии, 6 % – в кальции, 6 % – в йоде, 3 % – во фторе [28, 29].

В картофеле имеется холин, помогающий работе мозга, нервов, мышц, развитию памяти и обучению. В 100 г свежего картофеля содержится 11–53 мг холина [1].

В таблице 1 приведены данные о химическом составе картофеля [28].

Биохимический состав клубней картофеля с пигментированной кожурой и мякотью отличается повышенным содержанием антоцианов, каротиноидов, фенольных и хлорогеновых кислот, токоферолов, многих витаминов (С, В1, В2, В6, Е, А), минералов (калий, магний, железо, кальций), клетчатки, белка. К примеру, по данным [7], сорта Десерт, Монах, Сюрприз, Фиолетовый с интенсивно окрашенной мякотью клубней имеют повышенную концентрацию протеина – 3,19–3,75 % (табл. 2) [7, 9]. Важной особенностью такого картофеля является низкое содержание крахмала (у некоторых сортов эта величина не превышает 10,48–11,22 %) и сахаров, что делает его ценным диетическим продуктом, разрешенным к употреблению при сахарном диабете и заболеваниях поджелудочной железы [1, 7, 10].

В мякоти цветного картофеля накапливается в полтора-два раза больше витамина С в сравнении с белым или желтым картофелем – в 300 г клубней почти суточная норма. В синем или фиолетовом картофеле содержится также повышенное количество витаминов группы В (В1, В2, В3, В5, В6, В8, В9), Е и К. Следует отметить, что инозитол (витамин В8) обладает сильнейшими антиоксидантными свойствами (защищает клетки и клеточные мембраны от повреждения свободными радикалами и токсинами), блокирует отложение холестерина. По его содержанию (до 30 мг на 100 г) вареный картофель превосходит многие овощи и фрукты, уступая только цветной капусте, брокколи и луку. В пигментированном картофеле доминирует α-токоферол витамина Е (0,06–0,19 мг/100 г). Среди других токоферолов он обладает самой высокой биологической и антиоксидантной активностью. Y-токоферол и α-токотриенол присутствуют в незначительных количествах [30, 31].

Микроэлементы яркоокрашенного картофеля представлены кальцием, калием, железом, магнием, фосфором, натрием, серой. В небольших количествах присутствуют в клубнях йод, селен, фтор, бор, кобальт, цинк, медь, марганец. Суточной нормой цветного картофеля можно компенсировать до 60 % потребности организма в железе и меди, до 35 % – в фосфоре, до 30 % – в марганце, до 14 % – в цинке [28].

Таким образом, благодаря ценному составу и комплексу положительных пищевых свойств картофель с яркоокрашенной кожурой и мякотью клубней может широко использоваться для диетических целей и здорового питания человека.

Антиоксидантный состав картофеля. Основные группы веществ с антиоксидантной активностью, содержащиеся в клубнях с розовой, синей или фиолетовой мякотью картофеля: фенольные соединения, такие как фенольные кислоты и антоцианы, каротиноиды, хлорогеновые кислоты, витамины С, Е, А. Изучению биологической роли и определению суммарного содержания полифенолов-антиоксидантов в картофеле посвящены многие работы [3, 32, 33]. К примеру, авторы [3] зафиксировали наибольшие концентрации фенольных соединений в кожуре следующих цветных сортов: Тайфун (152,40±32,07 мг/100 г сырой массы), Фиолетовый (200,08±2,72), Сюрприз (211,32±10,46), Монах (374,21±39,50), по которым они не уступат зарубежным аналогам.

В таблице 3 приведены основные классы антиоксидантных соединений, присутствующих в клубнях картофеля с ярко выраженной синей, фиолетовой или розовой окраской мякоти [1].

Флавоноиды. К наиболее многочисленной и распространенной группе фенольных соединений относятся флавоноиды – фитохимические соединения, содержащиеся в различных частях растений (всего известно более 6500 видов флавоноидов). Существует 10 основных групп флавоноидов: флавоны, изофлавоны, флавонолы, антоцианы и антоцианиды, лейкоантоцианиды, ауроны, халконы, дигидрохалконы, катехины. Особая структура флавоноидов – бензольные кольца и ОН-радикалы реализуется в их высокой антиоксидантной активности [6, 34, 35]. В растениях флавоноиды – типичные пигментные красители.

Многочисленными исследованиями доказано, что в красных, фиолетовых или синих клубнях содержится в несколько раз больше флавоноидов, чем в жёлтых или белых (от 200 до 300 мкг/г свежей массы клубней) [9, 26, 29]. В картофеле с яркоокрашенной кожурой и мякотью клубней преобладают следующие флавоноиды: эродиктиол, кемпферол, катехин, эпикатехин и нарингенин [30, 36]. Во многих обзорах отмечают, что флавоноиды сильно различаются по своей антиоксидантной активности: к примеру, кверцетин в три раза более эффективен в качестве антиоксиданта, чем кемпферол и эридиктиол, и в два раза эффективнее катехина [31, 32, 33].

Таблица 1 – **Среднее содержание важных питательных веществ в 100 г съедобной массы клубней столового картофеля при уборке [28] /**
Table 1 – **The average content of important nutrients in 100g of edible mass of table potato tubers at harvest [28]**

Основные составные части, г / The main components, g		*Минеральные вещества, мг / Mineral substances, mg*		*Витамины, мг / Vitamins, mg*		*Органические кислоты, мг / Organic acids, mg*	
Вода / Water	77,8	Калий / Potassium	445,0	С (аскорбиновая кислота) / C (ascorbic acid)	17,0		
Углеводы / Carbohydrates	14,8	Кальций / Calcium	10,0	В1 (тиамин) / B1 (thiamine)	0,11	Лимонная / Lemon	510
Крахмал / Starch	14,1	Фосфор / Phosphorus	50,0	В2 (рибофлавин) / B2 (riboflavin)	0,045		
Глюкоза / Glucose	0,24	Магний / Magnesium	25,0	В3/5 (пантотеновая кислота) / B3/5 (pantothenic acid)	0,04		
Фруктоза / Fructose	0,17	Натрий / Sodium	10,0	В6 (пиридоксин) / B6 (pyridoxine)	0,21	Яблочная /Apple	90
Сахароза / Sucrose	0,30	Железо / Ferrum	0,8	В9 (фоливая кислота) / B9 (folic acid)	0,007		
Сырой протеин / Crude protein	2,1	Марганец / Manganese	0,15	РР (ниацин) / PP (niacin)	1,22		
Сырой жир / Crude fat	0,1	Медь / Copper	0,15	Е (токоферол) / E (tocopherol)	0,06		
		Цинк / Zinc	0,27	К / K	0,05	Салициловая / Salicylic acid	0,12
		Фтор / Fluorine	0,01	Провитамин (каротин) / Provitamin (carotene)	0,01		
		Йод / Iodine	0,004				
		Селен / Selenium	0,004				

Таблица 2 – **Уровень биохимических показателей некоторых сортов картофеля с различной пигментацией мякоти клубней (2019–2020 гг.) [7] /**
Table 2 – **The level of biochemical indicators of some potato cultivars with different pigmentation of tuber flesh (2019–2020) [7]**

Сорт / Cultivar	*Окраска / Colour*		*Биохимические показатели клубней / Biochemical parameters of tubers*					
	кожуры клубней / of tuber peels	*мякоти клубней / of tuber flesh*	*крахмал, % / starch, %*	*сырой протеин, % / crude protein, %*	*витамин С, мг% / vitamin C, mg%*	*антоцианы, % на 100 г сухого в-ва / anthocyanins, % per 100 g of crude matter*	*каротиноиды, % на 100 г сухого в-ва / carotenoids, % per 100 g of crude matter*	*флавоноиды, мг на 100 г сырого в-ва / flavonoids, mg per 100 g of crude matter*
Удача (контроль) / ‘Udacha’ (control)	Светло-желтая / Light yellow	Белая / White	13,72	1,86	14,71	0,0	0,74	30,11
Юбиляр / ‘Yubilyar’	Красная / Red	Желтая / Yellow	15,43	2,11	21,42	0,0	17,28	40,17
Сюрприз/ ‘Syurpriz’	Красная / Red	Ярко-розовая / Bright pink	11,22	3,42	22,97	2,48	26,84	50,31
Десерт / ‘Desert’	Красная / Red	Розовая / Pink	11,74	3,19	21,78	9,39	22,13	42,72
Фиолетовый / ‘Phioletovyi’	Сине-фиолетовая / Blue-violet	Фиолетовая / Violet	12,92	3,62	26,40	14,32	0,0	58,49
Монах / ‘Monakh’	Сине-фиолетовая / Blue-violet	Ярко-фиолетовая / Bright violet	10,48	3,75	25,84	16,94	0,0	64,81
$НСР_{05}$ / LSD_{05}			2,05	0,84	3,17	0,75	1,17	4,21

Таблица 3 – **Список антиоксидантов, присутствующих в картофеле с ярко выраженной окраской (синей, фиолетовой или розовой) мякоти клубней [1] /**
Table 3 – **List of antioxidants present in potatoes with vividly colored tuber flesh (blue, violet or pink) [1]**

Класс соединений / Classe of compounds	*Индивидуальные соединения / Individual compounds*
Антоцианины / Anthocyanins	Гликозиды пеларгонидина, пеонидина, петунидина и мальвидин. Пеларгонидин и мальдивин присутствуют также в виде агликонов, т. е. без сахарных остатков / Glycosides of pelargonidine, peonidine, petunidine and malvidine. Pelargonidin and maldivin are also present as aglycones, i.e. without sugar residues
Флавоноиды / Flavonoids	Рутин, кемпферол-3-рутинозид, гликозид кверцетина, катехин, эпикатехин, кверцетин, изокверцетрин, нарингенин, эродиктиол / Rutin, kaempferol-3-rutinoside, quercetin glycoside, catechin, epicatechin, quercetin, isoquercetin, naringenin, erodictyol
Фенольные кислоты / Phenolic Acids	Хлорогеновая, криптохлорогеновая, неохлорогеновая, кофейная, кумариновая, протокатехиновая, ванилиновая, феруловая, галловая, п-гидроксибензойная, эллаговая / Chlorogenic, cryptochlorogenic, neochlorogenic, coffee, coumarin, protocatechin, vanillin, ferulic, gallic, p-hydroxybenzoic, ellagic
Каротиноиды / Carotenoids	Лутеин, зеаксантин, ликопин, бета-криптоксантин, альфакаротин, бета-каротин / Lutein, zeaxanthin, lycopene, beta-cryptoxanthin, alphacarotene, beta-carotene

Антоцианы. Антоцианы, или антоцианины – широкая группа водорастворимых полифенольных растительных пигментов, которые обуславливают красную, синюю или фиолетовую окраску различных частей растений и клубней картофеля. Они относятся к классу флавоноидов и представляют собой гликозиды катионов флавилия – антоцианидинов (2-фенилбензопирилия) [37, 38, 39, 40].

Во многих исследованиях отмечено, что ни один класс природных веществ не оказывает такого многочисленного и разнообразного воздействия на биологическую и антиоксидантную активность клеток человека и животных, как биофлавоноиды [41, 42, 43]. Красные клубни содержат гликозиды пеларгонидина и пеонидина, фиолетовые – гликозиды мальвидина и петунидина [40, 44, 45]. Они не имеют свойства накапливаться и храниться в организме, что обуславливает необходимость ежедневного приема пищи, богатой антоцианами [42, 46]. По данным [2], содержание антоцианов в окрашенных клубнях картофеля (от 5,5 до 35 мг на 100 г сухой массы) выше, чем у лука, моркови, болгарского перца, баклажана и сопоставимо с их содержанием у черники, ежевики, черной смородины, бузины черной, клюквы и красного винограда – культур рекордсменов по данным соединениям. Во многих обзорах отмечают, что после кулинарной обработки количество антоцианов снижается слабо, либо не изменяется [1, 2, 4]. Интересные результаты были получены также при изучении антиоксидантной активности запеченного картофеля – установлено, что в печеном картофеле антиоксидантная активность была выше, чем в сыром за счет активной экстракции антиоксидантов в ходе процесса выпекания [1]. При хранении картофеля количество антоцианов также снижается незначительно [2]. Антоциановые пигменты могут синтезироваться в кожуре и мякоти клубней картофеля (табл. 4), окрашенными могут быть все части растения: цветки, листья, стебли и глазки [3, 38].

Каротиноиды – углеводородные органические пигменты желтого, оранжевого или красного цвета. Как и антоцианы, каротиноиды обладают мощнейшими антиоксидантными свойствами. Они являются провитаминами А или метаболическими предшественниками витамина А [1, 9]. Наиболее важный среди них – β-каротин. Каротиноидные пигменты включают две группы близких веществ по своей структуре: каротины, ксантофиллы, а также некоторые продукты циклизации и потери части углеродного скелета ликопина. В сортах картофеля с белой мякотью каротиноиды практически отсутствуют, найдены в основном ксантофиллы, а β-каротин находится в очень небольших количествах (до 0,65 мкг/г сухого вещества) [1]. При термической обработке картофеля (варке или запекании) каротиноиды почти полностью разрушаются. Наиболее термостабильными считаются лютеин и липофильные соединения. Клубни картофеля с яркой желтой, оранжевой, фиолетовой или красной окраской превосходят белые аналоги по суммарному содержанию каротиноидов в несколько раз. В работе [7] показано, что у сортов с яркоокрашенной желтой, оранжевой или

ярко-розовой кожурой и мякотью клубней концентрация каротиноидов повышенная – 10,41–26,8 % на 100 г сухого вещества. По результатам другого исследования [3], суммарное содержание каротиноидов на 100 г следующее: клубни с белой мякотью – 50–100 мг, с ярко-жёлтой – до 200 мг, с ярко-оранжевой, красной или красно-фиолетовой – 500–700 мг.

Таблица 4 – **Содержание антоцианов у сортов картофеля с фиолетовой и сине-фиолетовой окраской кожуры, мг/кг (методы ВЭЖХ и МС-МС масс-спектрометрии; n = 3, M±$t_{0,05}$½xSEM, 2018–2021 гг.) (по данным [40]) /**
Table 4 – **Anthocyanin content in some potato cultivars with violet and blue-violet peel color, mg/kg (HPLC and MS-MS mass spectrometry methods; n = 3, M±$t_{0.05}$½SEM, 2018–2021) (according to [40])**

Сорт / Cultivar	*Антоциан / Anthocyanin*	*Клубень / Tuber*	*Кожура / Peel*	*Мякоть / Flesh*
Черный Принц / 'Chernyi Prints'	Цианидин-3-глюкозид / Cyanidin-3-glucoside	54,3±0,2	70,8±0,2	10,3±0,2
	Цианидин-3-рамнозил-5-Глюкозид / Cyanidin-3-rhamnosyl-5-glucoside	25,9±0,2	30,4±0,2	< 0,5
	Петунидин-3-глюкозид / Petunidine-3-glucoside	102,9±0,3	140,7±0,3	24,1±0,3
Василек / 'Vasilek'	Дельфинидин-3-рамнозил-5-глюкозид / Delphinidin-3-rhamnosyl-5-glucoside	5,0±0,1	9,0±0,1	< 0,5
	Пеларгонидин-3-глюкозид / Pelargonidin-3-glucoside	38,2±0,2	45,1±0,2	< 0,5
	Петунидин-3-глюкозид / Petunidine-3-glucoside	149,8±0,4	180,1±0,4	26,1±0,3
	Цианидин-3-рамнозил-5-Глюкозид / Cyanidin-3-rhamnosyl-5-glucoside	2,0±0,1	2,0±0,1	< 0,5
Фиолетовый / 'Phioletovyi'	Дельфинидин-3-глюкозид / Delphinidin-3-glucoside	30,4±0,2	35,1±0,2	2,6±0,1
	Мальвидин-3-глюкозид / Malvidin-3-glucoside	50,1±0,2	60,3±0,2	3,1±0,1
	Петунидин-3-глюкозид / Petunidine-3-glucoside	5,1±0,1	5,5±0,1	2,1±0,1
	Цианидин-3-глюкозид / Cyanidin-3-glucoside	110,0±0,4	121,0±0,4	35,2±0,2
	Цианидин-3-рамнозил-5-Глюкозид / Cyanidin-3-rhamnosyl-5-glucoside	8,4±0,1	8,9±0,1	2,4±0,1

Генетические аспекты в селекции картофеля с повышенным содержанием антоцианов. Селекционерами и генетиками, в рамках темы здорового питания, уделяется большое внимание повышению качества картофелепродуктов [7, 13, 21]. Глубокие исследования посвящаются генетике и геномике картофеля, проводятся фундаментальные работы по изучению биологических процессов на клеточном и молекулярном уровнях организации.

Традиционная селекция картофеля сталкивается с трудностями из-за тетрасомного наследования, высокой геномной гетерозиготности и инбредной депрессии. Большинство культивируемых сортов картофеля является тетраплоидами с числом хромосом, равным 48 (2n = 4x = 48), соответственно в гаплоидный набор картофеля входит 12 хромосом. Размер генома составляет около 844 Мб.

Методами селекции с применением современных молекулярно-генетических подходов можно повысить содержание антиоксидантов в несколько раз (до 2000–4000 мк/кг). Основой для такой селекции служат преимущественно южноамериканские формы с высоким содержанием антоцианов и каротиноидов [3, 12, 14].

Последние достижения в области молекулярной биологии и глубокого изучения функционального генома картофеля позволили широко продвинуться в изучении молекулярных механизмов биосинтеза антоцианов [2, 13, 47]. Антоциановая окраска клубней и надземных частей картофеля – важный маркерный признак, который можно эффективно использовать в селекции картофеля на повышенное содержание пигментных веществ. Наследование признака антоциановой пигментации клубня у различных сортов картофеля было изучено еще в начале прошлого века. При этом были выявлены некоторые гены, контролирующие окраску мякоти клубня картофеля. Также проведены обширные исследования по изучению биохимической природы антоцианов у разных

видов картофеля, которые показывают, что по биохимическим показателям тетраплоидные сорта картофеля ничем не отличаются от культурных диплоидных видов. В их состав также входят: пеларгонидин, пеонидин, петунидин и мальвидин [2, 37, 39].

Повышение эффективности селекции по признакам окраски мякоти клубня (красная, синяя или фиолетовая) соотносят с разработкой ДНК-маркеров и праймеров для выявления аллелей ключевых генов биосинтеза антоцианов на основе ПЦР-анализа [2]. В настоящее время уже очевидно, что антоцианы являются стрессовыми метаболитами, биосинтез которых активируется во время действия на растения каких-либо неблагоприятных факторов среды (дефицит элементов питания, недостаток освещения, химический стресс). Устойчивость растений к болезням также тесно связана с накоплением антоцианов и выработкой фитогормонов. Изучение функций этих генов, связанных с защитным ответом, может быть полезно для понимания механизма защитного ответа антоцианов на устойчивость растений к патогенной инфекции. Так, антоцианы могут быть применимы, в том числе и как маркеры уровня адаптации растений к стрессовым условиям [47, 48, 49].

Известно, что в генетической регуляции биосинтеза антоцианов участвуют структурные гены следующих ферментов: халконсинтазы (CHS), халконфлаванонизомеразы (CHI), дигидрофлавонол-4-редуктазы (DFR), флавонон-3-гидроксилазы (F3H), флавоноид-3′-гидроксилазы (F3′H), флавоноид-3′,5′-гидроксилазы (F3′5′H) и антоцианидинсинтазы (ANS). Синтез антоцианов проходит в цитозоле растительной клетки фенилпропаноидным путем, после чего фенольные соединения транспортируются к вакуолям клетки [2, 36].

Пространственно-временной биосинтез антоцианинов неуклонно контролируется факторами транскрипции (TF), преимущественно комплексом MYB-bHLH-WD40 (MBW). TF R2R3-MYB напрямую связываются с промоторами структурных генов, активируя их экспрессию. И наоборот, путь биосинтеза антоцианина также контролируется репрессорами MYB, которые воздействуют на комплексы MBW или напрямую связываются с промотором генов-мишеней, формируя сложную регуляторную сеть биосинтеза антоцианина в растениях. Белки bHLH могут взаимодействовать с факторами MYB для усиления выработки антоцианов, в то время как WDR служит в качестве платформы взаимодействия «белок-белок» для облегчения образования и стабильности комплекса MBW [39].

По ряду зарубежных данных, в дополнение к комплексу MBW, факторы транскрипции из других семейств также играют решающую роль в биосинтезе антоцианов – WRKY44 [36], WRKY70 [47], WRKY75 [49], ERF9 [32], NAC002 [47], bZIP9 [48]. Такая многоуровневая регуляторная сеть обеспечивает точный контроль над различными уровнями биосинтеза антоцианов в ответ на сигналы развития и окружающей среды. В работе [49] идентифицирован основной транскрипционный фактор – StWRKY44, который участвует в накоплении антоцианов непосредственно внутри клубней и связывается с промоторами 7 структурных генов антоцианов, активируя их. Также авторами отмечено повышенное влияние фитогормонов на регуляцию биосинтеза антоцианина. Абсцизовая кислота (ABA) может способствовать выработке антоцианина. Накопление происходит путем активации экспрессии структурных генов и усиления функции комплекса MBW, такого как TF ABI5 [50]. Жасмоновая кислота (JA) индуцирует деградацию JAZ510, тем самым повышая стабильность и транскрипционную активность комплекса MYB5-TT8 и усиливая биосинтез антоцианина. В присутствии гиббереллинов (GA) активность комплексов MBW ингибируется репрессорами MYBL2 и/или JAZ, подавляя биосинтез антоцианов. Индолилуксусная кислота (ИУК) проявляет сложные дозозависимые эффекты на синтез антоцианов, при этом высокие концентрации часто ингибируют, а низкие – стимулируют выработку антоцианов [51, 52].

По данным [2], у картофеля обнаружено несколько генов, кодирующих транскрипционный фактор MYB, из них с признаком антоциановой пигментации связывают два основных гена: *StAN1* и *StF3′5′H*. Ген *StAN1* локуса D, картированный в 10-й хромосоме. Ген *StF3′5′H* локуса P в 11-й хромосоме также определяет окраску кожуры и мякоти клубней, переключая синтез пигментов с красных на синие и фиолетовые. Изученность генетики и молекулярных механизмов, лежащих в основе антоциановой пигментации клубней и других частей растения у селекционных форм картофеля, существенно облегчает многие этапы селекционного процесса: подбор родительских пар для скрещивания, планирование объемов селекционного материала, оценка и отбор гибридов по данному признаку [31, 53, 54].

Результаты селекции картофеля с высоким содержанием антиоксидантов в РФ и мире. Состояние и перспективы. Селекция картофеля с повышенным содержанием антиоксидантов (имеющих яркую красную, фиолетовую или темно-синюю окраску кожуры и мякоти клубней) ведется во многих странах мира с конца прошлого века. Анализ текущего состояния селекционной работы в данной области демонстрирует значительные достижения как в России, так и за рубежом [3, 12, 27].

В России проводятся исследования по определению суммарного содержания антиоксидантов, изучению морфогенетического потенциала и устойчивости к основным заболеваниям перспективных сортообразцов картофеля как в культуре *in vitro*, так и в тепличных, и полевых условиях [2, 7, 15]. Исследования по созданию перспективных форм картофеля с цветной мякотью клубней успешно проводятся в ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха (Московская область), ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР) (Санкт-Петербург), Уральском федеральном аграрном НИЦ УрО РАН (г. Екатеринбург), Сибирском НИИ сельского хозяйства (г. Омск), ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки [2, 20, 37].

В РФ выделены следующие сорта, которые имеют наибольший индекс пигментации клубней и мякоти картофеля: Аленький цветочек, Багира, Индиго, Монах, Ночка, Перламутровый, Синеглазка, Северное сияние, Сирень, Сюрприз, Фиолетовый, Черный принц, Чудесник и другие.

В США селекционная работа по созданию ценных диетических сортов картофеля ведется на протяжении многих лет и уже достигнуты определенные успехи. Цветные клубни картофеля в США широко применяются для изготовления различных продуктов: чипсов, картофеля фри, салатов, которые пользуются большим спросом [13, 27, 55].

Среди американских ярко-фиолетовых или красных сортов картофеля можно выделить следующие: All blue, All red, Adirondack blue, Adirondack red, Explosion, Purple peruvian, Purple majesty, Red thumb.

Из европейских сортов достаточно распространены: German blue, Salad Blue, Scottish Black, Swedish purple, Vitelotte.

Сорта, выведенные южнокорейскими селекционерами: Bora Valley, Cogu Valley, Grui Valley.

Новейшие белорусские сорта картофеля с фиолетовой мякотью клубней: Белорусский синий, Вайлдберриз, Лекарь, Сапфир.

Украинские сорта: Гурман, Солоха [26, 44, 56].

В настоящее время известно, что основными источниками исходного материала для селекции сортов картофеля, обладающих повышенным содержанием антиоксидантов, являются дикие и культурные диплоидные виды картофеля Южной Америки. Среди данных видов наблюдается наибольшее генетическое разнообразие по признаку антоциановой пигментации мякоти клубня. Однако скрещивания этих видов с сортами *S. tuberosum* затруднены из-за межплоидной несовместимости. В то же время широкий прогресс в изучении генетики антоциановой пигментации, а также развитие современных генно-инженерных и биотехнологических методов в значительной степени позволят облегчить эти задачи в ближайшем будущем [57, 58].

Традиционным способом выведения сорта с окрашенной мякотью клубня является изучение исходных форм, включение их в скрещивание, последующий отбор по выраженности данного признака и оценкам на общее содержание антиоксидантов в кожуре и мякоти клубней [11, 16, 27]. Известен также способ создания исходного материала картофеля с цветной мякотью клубней [59]. К его недостаткам относят отсутствие исследований на соответствие окраски частей растений количественному содержанию антоцианов и их идентификации. Авторами [38] был разработан способ отбора образцов картофеля с повышенным содержанием антоцианов, включающий подбор исходных родительских форм, получение гибридов, отбор образцов и их анализ с выделением в фазу массового цветения растений образцов с красно-фиолетовой окраской венчика соцветий. На 60-й день после посадки из них отбирают образцы с красной и розовой окраской кожуры клубней, в которой содержание пеларгонидин-3-глюкозида составляет 78–95 мг/кг (Патент RU2723406C1) [38, 40].

Использование современных молекулярно-генетических методов в селекции картофеля, направленной на повышенное содержание антиоксидантов (использование ДНК-маркеров, клонирование отдельных генов и перенос их в исходный материал), будет способствовать созданию таких сортов [2, 58]. К примеру, трансформация растений и исполь-

зование метаболомики, становятся все более популярными в исследованиях биосинтеза каротиноидов. Изыскание, в котором введение гена *CrtI* (phytoene desaturase) из бактерий *Agrobacterium tumefaciens* привело к значительному увеличению содержания каротиноидов в клубнях картофеля, было проведено биотехнологической лабораторией ENEA (Италия) в сотрудничестве с Университетом Фрайбурга еще в 2007 г. [60].

Специалисты испанского Университета вместе с учёными компании IBMCP-CSIC создали картофель с отредактированным геномом. В гены овощной культуры они внедрили ген шафрана, который известен большим содержанием антиоксидантов. Результаты работы опубликованы в журнале Frontiers in Nutrition в 2023 г. [61].

Заключение. Повышение питательной ценности картофеля является важным направлением в селекции данной культуры, стремительно набирающим обороты. Сорта картофеля с синими, фиолетовыми или красными клубнями богаты множеством полезных веществ, среди которых особую роль играют антоцианы, обладающие сильнейшими антиоксидантными свойствами. Они защищают организм человека от старения, клеточных повреждений, подавляют воспалительные процессы и помогают в борьбе с более чем 100 различными заболеваниями, в том числе и онкологическими.

На сегодняшний день, очевидно, что уже созданы гибриды и сорта картофеля с высоким содержанием антиоксидантов в клубнях. Однако в России они все еще не так распространены, как в Европе или Америке (к примеру, в Западной Европе такие клубни очень ценятся, во Франции килограмм некоторых сортов фиолетового картофеля стоит 200 евро) и только начинают набирать популярность. Встретить такой картофель в нашей стране можно крайне редко, только в крупных супермаркетах. В промышленных масштабах его практически не выращивают, возделывают, в основном, в частных хозяйствах в небольших количествах, так как отечественный семенной материал пока не создан в достаточном количестве. Цена на него сильно колеблется в зависимости от многих факторов и может составлять от 100 до 400 рублей за килограмм. По урожайности сорта с пигментированной мякотью существенно уступают сортам с белой или желтой окраской мякоти клубня. Стоит отметить также, что несмотря на положительные качества цветного картофеля все еще отсутствуют сорта, обладающие одновременно высокой урожайностью и комплексной устойчивостью к различным заболеваниям.

Для достижения цели по созданию сортов с повышенным содержанием антиоксидантов в клубнях (например, антоцианов или витаминов) могут быть поставлены следующие задачи:

- изучение закономерностей наследования признаков, определяющих антиоксидантную активность картофеля в различных типах скрещиваний;
- изучение процесса биосинтеза антиоксидантов картофеля на молекулярно-генетическом уровне. Например, важно понять, как происходит накопление антоцианов и каротиноидов в клубнях;
- разработка новых ДНК-маркеров генов, регулирующих биосинтез основных антиоксидантных соединений картофеля;
- разработка комплексных селекционных программ, направленных на создание новых сортов картофеля, обладающих не только высокой урожайностью и устойчивостью к заболеваниям, но и улучшенными характеристиками по содержанию антиоксидантов;
- разработка модели биологизированной технологии выращивания картофеля с высоким антиоксидантным статусом.

При создании высокоадаптивных сортов с высоким содержанием различных биологически активных веществ (фенольных соединений) с антиоксидантными свойствами используют различные методы, которые включают классическую селекцию, генетическую трансформацию, современные биотехнологические приёмы и другие.

Селекция картофеля на увеличение содержания различных природных антиоксидантов представляет интерес не только с точки зрения разнообразия функциональных продуктов для здорового питания, но и для повышения конкурентоспособности пигментированных отечественных сортов картофеля в качестве интересных для покупателя натуральных разноцветных картофелепродуктов (например, пюре, запеченный картофель или хрустящий картофель в виде чипсов).

Таким образом, создание диетических сортов картофеля с повышенным содержанием антиоксидантов, безусловно перспективно, учитывая острую необходимость в доступных для населения продуктах питания, обладающих ценными лечебно-профилактическими свойствами и способствующих укреплению здоровья человека.

Список литературы

1. Жевора С. В., Старовойтов В. И., Яшин А. Я., Манохина А. А., Яшин Я. И. Исследования химического состава и антиоксидантной активности картофеля. Наука в центральной России. 2021;(1(49)):80–86. DOI: https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-1-80-87 EDN: PZCJIU

2. Стрыгина К. В., Хлесткина Е. К. Синтез антоцианов у картофеля (*Solanum tuberosum* L.): генетические маркеры для направленного отбора (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2017;52(1):37–49. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.37rus EDN: YFQFCR

3. Гинс Е. М., Москалев Е. А., Поливанова О. Б., Митюшкин А. В., Симаков Е. А. Оценка содержания веществ с антиоксидантной активностью в образцах картофеля коллекции исходных форм Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020;15(3):242–252. DOI: https://doi.org/10.22363/2312-797X-2020-15-3-242-252 EDN: IHYMLA

4. Бординова В. П., Макарова Н. В. Антиоксидантные свойства продуктов питания. Приоритеты и научное обеспечение реализации государственной политики здорового питания в России: мат-лы II Междунар. научн.-практ. конф. Орел, 2010. С. 187–192.

5. Корчина Т. Я., Кушникова Г. И., Корчина И. В., Сорокун И. В., Козлова Л. А., Кузьменко А. П., Ямбарцев В. А. Роль антиоксидантов в функциональном питании. Вестник угроведения. 2011;4(7):163–168.

6. Леонтьева Н. В. Флавоноиды - природные антиоксиданты. Актуальные проблемы теоретической и клинической медицины. 2024;(1):55–64. DOI: https://doi.org/10.24412/2790-1289-2024-1-42-49 EDN: WOEWHW

7. Симаков Е. А., Митюшкин А. В., Журавлев А. А., Гайзатулин А. С., Салюков С. С., Овечкин С. В., Семенов В. А. Сравнительная оценка антиоксидантной активности сортов картофеля с различной пигментацией мякоти клубней. Вестник КрасГАУ. 2021;(11):24–31. DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-11-24-31 EDN: VGOOBZ

8. Лудан В. В., Польская Л. В. Роль антиоксидантов в жизнедеятельности организма. Таврический медико-биологический вестник. 2019;22(3):86–92. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=42525811 EDN: QVIYNX

9. Поливанова О. Б., Гинс Е. М. Антиоксидантная активность пигментированного картофеля (*Solanum tuberosum* L.), содержание антоцианов, их биосинтез и физиологическая роль. Овощи России. 2019;(6):84–90. DOI: https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-84-90 EDN: ITVJJO

10. Гольдштейн В. Г., Дегтярев В. А., Коваленок В. А., Семенова А. В., Морозова А. А. Определение пригодности различных сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с белой и пигментированной мякотью для переработки на картофелепродукты. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(1):98–109. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.98-109 EDN: WDTPET

11. Пискун Г. И. Методологические основы и результаты селекции сортов картофеля с высоким содержанием антиоксидантов и витамина С. Картофелеводство. 2022;30(1):25–30. DOI: https://doi.org/10.47612/0134-9740-2022-30-25-30

12. Симаков Е. А., Митюшкин А. В., Журавлев А. А., Митюшкин А. В., Гайзатулин А. С. Сравнительная оценка исходного материала картофеля в селекции на повышение питательной ценности клубней. Картофелеводство. 2020;27(2):30–36. Режим доступа: https://potato.belal.by/jour/article/view/59

13. Grudzinska M., Czerko Z., Zarzynska K., Borowska-Komenda M. Bioactive compounds in potato tubers – effects of farming system, cooking method and flesh color. Plos One. 2016;11(5):e0153980. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153980

14. Симаков Е. А., Митюшкин А. В., Журавлев А. А. Современные требования к сортам картофеля различного целевого использования. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(11):45–48. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28140587 EDN: XRUUWR

15. Голубев К. С., Хабарова Л. Н., Калашникова Е. А., Киракосян Р. Н., Темирбекова С. К. Изучение в культуре *in vitro* перспективных генотипов картофеля с высоким содержанием антиоксидантов. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021;(5):55–64. DOI: https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-5-55-64 EDN: VNWHKL

16. Тайков В. В., Удовицкий А. С., Киру С. Д., Дергилева Т. Т., Ахмет А. З. Новый сорт картофеля Киру с окрашенной мякотью клубней создан совместно селекционерами Казахстана и России. Актуальные вопросы садоводства и картофелеводства: сб. тр. Междунар. дистан. научн.-практ. конф. Челябинск: ФГБНУ «Южно-Уральский НИИ садоводства и картофелеводства», 2018. С. 377–382. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35014614 EDN: XOZMDJ

17. Черепанова К. А. Корригирующее влияние дигидрокверцетина на состояние окислительного метаболизма у больных сахарным диабетом 2 типа, проживающих на севере. Ульяновский медико-биологический журнал. 2021;(2):16–24. DOI: https://doi.org/10.34014/2227-1848-2021-2-16-24 EDN: CZVRJT

18. Миняйло Л. А., Корчина Т. Я., Корчин В. И., Нехорошева А. В., Нехорошев С. В. Оценка антиоксидантного действия дигидрокверцетина у взрослых жителей Севера в условиях неблагоприятных воздействий среды обитания. Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. 2023;31(4):63–69. DOI: https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-4-63-69 EDN: REMDBD

19. Albishi T., John J. A., Al-Khalifa A. S., Shahidi F. Phenolic content and antioxidant activities of selected potato varieties and their processing by-products. Journal of Functional Foods. 2013;5(2):590–600. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.11.019

20. Шанина Е. П., Оберюхтин Д. А., Черницкий А. Е. Картофель: новый взгляд на традиционный пищевой продукт и его употребление в виде сока (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2024;59(1):22–38. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.1.22rus EDN: MKHXDY

21. 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

22. Singh J., Kaur L., Rao M. A. Chapter 16 - Textural Characteristics of Raw and Cooked Potatoes Eds. Advances in potato chemistry and technology (Second Edition). Elsevier, 2016. pp. 475–501. DOI: https://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-800002-1.00016-9

23. Watanabe K. Potato genetics, genomics and applications. Breeding Science. 2015;65(1):53–68. DOI: https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.53

24. Гаспарян И. Н., Петрова М. А., Гаспарян Ш. В. Комплексная оценка новых столовых и пригодных к промышленной переработке сортов картофеля. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023;(5(74)):25–36. DOI: https://doi.org/10.24411/2078-1318-2023-5-25-36 EDN: DENKQA

25. Молявко А. А., Марухленко А. В., Борисова Н. П., Белоус Н. М., Ториков В. Е. Пригодность сортов картофеля к промышленной переработке. Вестник Брянской ГСХА. 2021;(1(83)):24–29. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44657559 EDN: HMHNJF

26. Николаева О. В. Сравнительная оценка сортов картофеля с окрашенной мякотью. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2023;(1):68–74. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=50745258 EDN: FSIYSN

27. Furrer A. N., Chegeni M., Ferruzzi M. G. Impact of potato processing on nutrients, phytochemical and human health. Critical Reviews in Food Science Nutrition. 2018;58(1):146–168. DOI: https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1139542

28. Шпаар Д., Быкин Д., Дрегер Д. Картофель. Возделывание, уборка, хранение: научно-практическое руководство. Под общ. ред. Д. Шпаара. 4-е изд., дораб. и доп. М.: ДЛВ Агродело, 2022. 439 с.

29. Семенова А. В., Гольдштейн В. Г., Дегтярев В. А. Изучение состава картофеля по хозяйственно ценным признакам, определяющим его пригодность к промышленной переработке. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(6):841–851. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.841-851 EDN: KFBDKR

30. Balasundram N., Sundram K., Samman S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chemistry. 2006;99(1):191–203. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042

31. Ramalakshmi K., Kubra I. R., Rao J. M. Antioxidant potential of low-grade coffee beans. Food Research International. 2008;41(1):96–103. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.10.003

32. Michalska A., Ceglinska A., Amarowicz R., Piskula M. K., Szawara-Nowak D., Zielinski H. Antioxidant contents and antioxidative properties of traditional rye breads. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007;55(3):734–740. DOI: https://doi.org/10.1021/JF062425W

33. Le S. H., Oh S. H., Hwang I. G., Kim H. Y., Woo K. S., Woo Sh. H. et al. Antioxidant contents and antioxidant activity of white and colored potatoes. Preventive Nutrition and Food Science. 2016;21(2):110–116. DOI: https://doi.org/10.3746/pnf.2016.21.2.110

34. Pietta P. G. Flavonoids as antioxidants. Journal of Natural Products. 2000;63(7):1035–1042. DOI: https://doi.org/10.1021/np9904509

35. Chu Y. H., Chang C. L., Hsu H. F. Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2000;80(5):561–566. DOI: https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(200004)80

36. Peng Y., Lin-Wang K., Cooney J. M., Wang T., Espley R. V., Allan A. C. Differential regulation of the anthocyanin profile in purple kiwifruit (*Actinidia species*). Horticulture Research. 2019;6(3). DOI: https://doi.org/10.1038/s41438-018-0076-4

37. Ким И. В., Клыков А. Г. Изучение антоцианов в кожуре и мякоти клубней гибридов картофеля (*Solanum tuberosum* L.). Овощи России. 2024;(2):100–105. DOI: https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-2-100-105 EDN: KMMXGM

38. Ким И. В., Волков Д. И., Захаренко В. М., Захаренко А. М., Голохваст К. С., Клыков А. Г. Состав и содержание антоцианов в диетических сортах картофеля, перспективных для выращивания и селекции в условиях Дальнего Востока России. Сельскохозяйственная биология. 2020;55(5):995–1003. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.5.995rus EDN: DDPBQV

39. Yang R., Huang S., Li D., Sun Y., Zhou G., Zhou D., Huang B. Transcriptomic and targeted metabolomic analysis identifies genes involved in differential anthocyanin accumulation in potato tubers. Frontiers in Plant Science. 2025;16:1615972. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1615972

40. Ким И. В., Клыков А. Г. Исследование антоцианов в клубнях картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в условиях Приморского края. Вестник КрасГАУ. 2023;(4):12–20.
DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-4-12-20 EDN: UQQSIZ

41. Herberg S., Galan P., Preziosi P., Alfarez M. J., Vazquez C. The potential role of antioxidant vitamins in preventing cardiovascular diseases and cancers. Nutrition. 1998;14(6):513–520.
DOI: https://doi.org/10.1016/s0899-9007(98)00040-9

42. Aljadi A. M., Singh R. P., Jayaprasha G. K., Jena B. S. Evaluation of the phenolic contents and antioxidant capacities of two Malaysian floral honeys. Food Chemistry. 2004;85(4):513–518.
DOI: https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00596-4

43. Valcarcel J., Reilly K., Gaffney M., O'Brien N. M. Antioxidant activity, total phenolic and total flavanoid content in sixty varieties of potato grown in Ireland. Potato Research. 2015;58:221–244.
DOI: https://doi.org/10.1021/jf062740i

44. Pazderu K., Hamouz K., Lachman J., Kasal P. Yield potential and antioxidant activity of potatoes with coloured flesh. Plant, Soil and Environment. 2015;61(9):417–421. DOI: https://doi.org/10.17221/416/2015-PSE

45. Kalita D., Jajanty S. S. Comparison of polyphenol content and antioxidant capacity of colored potato tubers, pomegranate and bluederries. Journal Food Processing & Technology. 2014;5(8):1000358.
DOI: https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000358

46. Zaheer K., Akhtar M. H. Potato production, usage and nutrition-a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2016;56(5):711–721. DOI: https://doi.org/10.1080/10408398.2012.724479

47. Zou S. C., Zhuo M. G., Abbas F., Hu G. B., Wang H. C., Huang X. M. Transcription factor LcNAC002 coregulates chlorophyll degradation and anthocyanin biosynthesis in litchi. Plant Physiol. 2023;192(3):1913–1927.
DOI: https://doi.org/10.1093/plphys/kiad118

48. Chen M., Cao X., Huang Y., Zou W., Liang X., Yang Y. et al. The bZIP transcription factor MpbZIP9 regulates anthocyanin biosynthesis in Malus' Pinkspire' fruit. Plant Sci. 2024;342:112038.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2024.112038

49. Lu Z., He J., Fu J., Huang Y., Wang X. WRKY75 regulates anthocyanin accumulation in juvenile citrus tissues. Molecular Breeding. 2024;44:52. DOI: https://doi.org/10.1007/s11032-024-01490-9

50. Song R. F., Hu X. Y., Liu W. C., Yuan H. M. ABA functions in low phosphate-induced anthocyanin accumulation through the transcription factor ABI5 in Arabidopsis. Plant Cell Reports. 2024;43:55.
DOI: https://doi.org/10.1007/s00299-024-03146-6

51. Roginsky V., Lissi E. A. Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. Food Chemistry. 2005;92(2):235–254. DOI: http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.004

52. Иванова К. А., Герасимова С. В., Хлесткина Е. К. Регуляция биосинтеза стероидных гликоалкалоидов картофеля. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018;22(1):25–34. DOI: https://doi.org/10.18699/VJ18.328 EDN: YPNTQJ

53. Ni J., Wang S., Yu W., Liao Y., Pan C., Zhang M. et al. The ethylene responsive transcription factor PpERF9 represses PpRAP2.4 and PpMYB114 via histone deacetylation to inhibit anthocyanin biosynthesis in pear. Plant Cell. 2023;35(6):2271–2292. DOI: https://doi.org/10.1093/plcell/koad077

54. Loo A. Y., Jain K., Darah I. Antioxidant and radical scavenging activitities of the pyroligneous acid from a mangrove plant, Rhizophora apiculate. Food Chemistry. 2007;104(1):300–307.
DOI: https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2006.11.048

55. Galani J. H. Y., Monkad R. M., Shah A. K., Patel N. J., Acharya R. R., Talati J. G. Effect of storage temperature on vitamins C, total phenolics, UPLC phenolic acid profile and antioxidant activity of eleven potato varieties. Horticultural Plant Journal. 2017;3(2):73–89. DOI: https://doi.org/10.1016/j.hpj.2017.07.004

56. Мозаева Ю. В., Пугачева Г. М., Папихин Р. В. Сорта картофеля с яркой цветной окраской клубней. Наука и образование. 2022;5(2):278. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=49458818 EDN: FMYQMH

57. Быкова И. В., Шмаков Н. А., Афонников Д. А., Кочетов А. В., Хлесткина Е. К. Достижения и перспективы использования методов высокопроизводительного секвенирования в генетике и селекции картофеля. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(1):96–103. DOI: https://doi.org/10.18699/VJ17.227 EDN: XYEBFH

58. Ермишин А. П., Левый А. В., Агеева А. С., Воронкова Е. В., Лукша В. И., Гукасян О. Н., Жарич В. М. Особенности переноса ДНК-маркеров генов дикого аллотетраплоидного вида картофеля *Solanum stoloniferum* в геном культурного картофеля в зависимости от их субгеномной принадлежности и применяемых схем интрогрессии. Генетика. 2023;59(7):741–754.
DOI: https://doi.org/10.31857/S0016675823070056 EDN: QKFUVA

59. Козлов В. А. Создание исходного материала картофеля с цветной мякотью клубней. Картофелеводство. 2014;22(1):29–34. Режим доступа: https://potato.belal.by/jour/article/view/226

60. Diretto G., Al-Babili S., Tavazza R., Papacchioli V., Beyer P., Giuliano G. Metabolic engineering of potato carotenoid content through tuber-specific overexpression of a bacterial mini-pathway. PLoS One. 2007;2(4):e350.
DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000350

61. Ayoob K. T. Carbohydrate confusion and dietary patterns: unintended public health consequences of "food swapping". Frontiers in Nutrition. 2023;10:1266308. DOI: https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1266308

References

1. Zhevora S. V., Starovoytov V. I., Yashin A. Ya., Manokhina A. A., Yashin Ya. I. Research of the chemical composition and antioxidant activity of potatoes. *Nauka v tsentral'noy Rossii* = Science in Central Russia. 2021;(1(49)):80–86. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-1-80-87

2. Strygina K. V., Khlestkina E. K. Anthocyanins synthesis in potato (*Solanum tuberosum* L.): genetic markers for smart breeding. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(1):37–49. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.37rus

3. Gins E. M., Moskalev E. A., Polivanova O. B., Mityushkin A. V., Simakov E. A. Antioxidant contents in potato cultivars from the collection of Russian potato research center. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2020;15(3):242–252. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.22363/2312-797X-2020-15-3-242-252

4. Bordinova V. P., Makarova N. V. Antioxidant properties of food. Priorities and scientific support for the implementation of the state policy of healthy nutrition in Russia: Proceedings of the II International scientific and practical conference. Orel, 2010. pp. 187–192.

5. Korchina T. Ya., Kushnikova G. I., Korchina I. V., Sorokun I. V., Kozlova L. A., Kuzmenko A. P., Yambartsev V. A. The role of antioxidants in functional nutrition. *Vestnik ugrovedeniya* = Bulletin of ugric studies. 2011;4(7):163–168. (In Russ.).

6. Leonteva N. V. Flavonoids are natural antioxidants. *Aktualnie problemi teoreticheskoy i klinicheskoy meditsini* = Current Problems of Theoretical and Clinical Medicine. 2024;(1):55–64. (In Russ.-Kahastan). DOI: https://doi.org/10.24412/2790-1289-2024-1-42-49

7. Simakov E. A., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A., Gayzatulin A. S., Salyukov S. S., Ovechkin S. V., Semenov V. A. Comparative evaluation of the antioxidant activity of potato varieties with different tuber pulp pigmentation. *Vestnik KraSGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2021;(11):24–31. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-11-24-31

8. Ludan V. V., Polskaya L. V. The role of antioxidants in the vital activity. *Tavrichesky mediko-biologichesky vestnik*. 2019;22(3):86–92. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=42525811

9. Polivanova O. B., Gins E. M. Antioxidant activity of potatoes (Solanum tuberosum L.) and anthocyanin content, its biosynthesis and physiological role. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2019;(6):84–90. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-84-90

10. Goldstein V. G., Degtyarev V. A., Kovalenok V. A., Semenova A. V., Morozova A. A. Determination of suitability of different potato (Solanum tuberosum L.) varieties with white and pigmented pulp for processing into potato products. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(1):98-109. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.98-109

11. Piskun G. I. Methodological foundations and results of the selection of potato varieties high in antioxidants and vitamin C. *Kartofelevodstvo* = Potato Growing. 2022;30(1):25–30. (In Belarus). DOI: https://doi.org/10.47612/0134-9740-2022-30-25-30

12. Simakov E. A., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A., Mityushkin A. V., Gayzatulin A. S. Comparative evaluation of potatoes basic material in breeding to increase tubers nutrient quality. *Kartofelevodstvo* = Potato Growing. 2020;27(2):30–36. (In Belarus). URL: https://potato.belal.by/jour/article/view/59

13. Grudzinska M., Czerko Z., Zarzynska K., Borowska-Komenda M. Bioactive compounds in potato tubers – effects of farming system, cooking method and flesh color. Plos One. 2016;11(5):e0153980. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153980

14. Simakov E. A., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A. Modern requirements to potato varieties of different target use. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2016;30(11):45–48. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28140587

15. Golubev K. S., Khabarova L. N., Kalashnikova E. A., Kirakosyan R. N., Temirbekova S. K. Study of promising potato genotypes with a high content of antioxidants *in vitro*. *Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2021;(5):55–64. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-5-55-64

16. Taykov V. V., Udovitskiy A. S., Kiru S. D., Dergileva T. T., Akhmet A. Z. A new 'Kiru' potato cultivar with colored tuber flesh was created jointly by breeders from Kazakhstan and Russia. Current issues of horticulture and potato growing: collection of scientific articles of International distant scientific and practical conference. Chelyabinsk: *FGBNU «Yuzhno-Ural'skiy NII sadovodstva i kartofelevldstva»*, 2018. pp. 377–382. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35014614

17. Cherepanova K. A. Corrective impact of dihydroquercetin on oxidative metabolism in patients with type 2 diabetes mellitus living in the north. *Ulyanovsky mediko-biologichesky zhurnal* = Ulyanovsk Medico-biological Journal. 2021;(2):16–24. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.34014/2227-1848-2021-2-16-24

18. Minyaylo L. A., Korchina T. Ya., Korchin V. I., Nekhorosheva A. V., Nekhoroshev S. V. Evaluation of the antioxidant effect of dihydroquercetin in adult residents of the North under adverse environmental conditions. *Zdorove naseleniya i sreda obitaniya – ZNISO* = Public Health and Life Environment. 2023;31(4):63–69. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-4-63-69

19. Albishi T., John J. A., Al-Khalifa A. S., Shahidi F. Phenolic content and antioxidant activities of selected potato varieties and their processing by-products. Journal of Functional Foods. 2013;5(2):590–600. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.11.019

20. Shanina E. P., Oberyukhtin D. A., Chernitskiy A. E. Potato juice vs. traditional potato use - a new insight (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2024;59(1):22–38. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.1.22rus

21. 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 Evro-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

22. Singh J., Kaur L., Rao M. A. Chapter 16 - Textural Characteristics of Raw and Cooked Potatoes Eds. Advances in potato chemistry and technology (Second Edition). Elsevier, 2016. pp.475–501. DOI: https://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-800002-1.00016-9

23. Watanabe K. Potato genetics, genomics and applications. Breeding Science. 2015;65(1):53–68. DOI: https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.53

24. Gasparyan I. N., Petrova M. A., Gasparyan Sh. V. Integrated assessment of new table varieties and suitable for industrial processing. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2023;(5(74)):25–36. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/2078-1318-2023-5-25-36

25. Molyavko A. A., Marukhlenko A. V., Borisova N. P., Belous N. M., Torikov V. E. Availability of potato varieties for industrial processing. *Vestnik Bryanskoy GSKHA* = Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2021;(1(83)):24–29. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44657559

26. Nikolaeva O. V. Comparative evaluation of potato variety with colored pulp. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2023;(1):68–74. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=50745258

27. Furrer A. N., Chegeni M., Ferruzzi M. G. Impact of potato processing on nutrients, phytochemical and human health. Critical Reviews in Food Science Nutrition. 2018;58(1):146–168. DOI: https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1139542

28. Shpaar D., Bikin D., Dreger D. Potato. Cultivation, harvesting, storage: scientific and practical guidance. Under the general editorship of D. Shpaar. 4th edition, revised and enlarged. Moscow: *DLV Agrodelo*, 2022. 439 p.

29. Semenova A. V., Goldstein V. G., Degtyarev V. A., Morozova A. A., Koroleva A. K. Study of the composition of potatoes by agronomic traits determining its suitability for industrial processing. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):841–851. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.841-851

30. Balasundram N., Sundram K., Samman S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chemistry. 2006;99(1):191–203. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042

31. Ramalakshmi K., Kubra I. R., Rao J. M. Antioxidant potential of low-grade coffee beans. Food Research International. 2008;41(1):96–103. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.10.003

32. Michalska A., Ceglinska A., Amarowicz R., Piskula M. K., Szawara-Nowak D., Zielinski H. Antioxidant contents and antioxidative properties of traditional rye breads. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007;55(3):734–740. DOI: https://doi.org/10.1021/JF062425W

33. Le S. H., Oh S. H., Hwang I. G., Kim H. Y., Woo K. S., Woo Sh. H. et al. Antioxidant contents and antioxidant activity of white and colored potatoes. Preventive Nutrition and Food Science. 2016;21(2):110–116. DOI: https://doi.org/10.3746/pnf.2016.21.2.110

34. Pietta P. G. Flavonoids as antioxidants. Journal of Natural Products. 2000;63(7):1035–1042. DOI: https://doi.org/10.1021/np9904509

35. Chu Y. H., Chang C. L., Hsu H. F. Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2000;80(5):561–566. DOI: https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(200004)80

36. Peng Y., Lin-Wang K., Cooney J. M., Wang T., Espley R. V., Allan A. C. Differential regulation of the anthocyanin profile in purple kiwifruit (*Actinidia species*). Horticulture Research. 2019;6(3). DOI: https://doi.org/10.1038/s41438-018-0076-4

37. Kim I. V., Klykov A. G. Studying anthocyanins in the skin and flesh of the tubers of some potato hybrids (*Solanum tuberosum* L.). *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2024;(2):100–105. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-2-100-105

38. Kim I. V., Volkov D. I., Zakharenko V. M., Zakharenko A. M., Go-lokhvast K. S., Klykov A. G. Composition and quantification of antocians in healthy-diet potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties for growing and selection in the Russian Far East. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2020;55(5):995–1003. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.5.995rus

39. Yang R., Huang S., Li D., Sun Y., Zhou G., Zhou D., Huang B. Transcriptomic and targeted metabolomic analysis identifies genes involved in differential anthocyanin accumulation in potato tubers. Frontiers in Plant Science. 2025;16:1615972. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1615972

40. Kim I. V., Klikov A. G. Studying anthocyanins in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) under the conditions of the Primorsky region. *Vestnik KraSGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2023;(4):12–20. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-4-12-20

41. Herberg S., Galan P., Preziosi P., Alfarez M. J., Vazquez C. The potential role of antioxidant vitamins in preventing cardiovascular diseases and cancers. Nutrition. 1998;14(6):513–520. DOI: https://doi.org/10.1016/s0899-9007(98)00040-9

42. Aljadi A. M., Singh R. P., Jayaprasha G. K., Jena B. S. Evaluation of the phenolic contents and antioxidant capacities of two Malaysian floral honeys. Food Chemistry. 2004;85(4):513–518. DOI: https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00596-4

43. Valcarcel J., Reilly K., Gaffney M., O'Brien N. M. Antioxidant activity, total phenolic and total flavanoid content in sixty varieties of potato grown in Ireland. Potato Research. 2015;58:221–244. DOI: https://doi.org/10.1021/jf062740i

44. Pazderu K., Hamouz K., Lachman J., Kasal P. Yield potential and antioxidant activity of potatoes with coloured flesh. Plant, Soil and Environment. 2015;61(9):417–421. DOI: https://doi.org/10.17221/416/2015-PSE

45. Kalita D., Jajanty S. S. Comparison of polyphenol content and antioxidant capacity of colored potato tubers, pomegranate and bluederries. Journal Food Processing & Technology. 2014;5(8):1000358. DOI: https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000358

46. Zaheer K., Akhtar M. H. Potato production, usage and nutrition-a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2016;56(5):711–721. DOI: https://doi.org/10.1080/10408398.2012.724479

47. Zou S. C., Zhuo M. G., Abbas F., Hu G. B., Wang H. C., Huang X. M. Transcription factor LcNAC002 coregulates chlorophyll degradation and anthocyanin biosynthesis in litchi. Plant Physiol. 2023;192(3):1913–1927. DOI: https://doi.org/10.1093/plphys/kiad118

48. Chen M., Cao X., Huang Y., Zou W., Liang X., Yang Y. et al. The bZIP transcription factor MpbZIP9 regulates anthocyanin biosynthesis in Malus' Pinkspire' fruit. Plant Sci. 2024;342:112038. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2024.112038

49. Lu Z., He J., Fu J., Huang Y., Wang X. WRKY75 regulates anthocyanin accumulation in juvenile citrus tissues. Molecular Breeding. 2024;44:52. DOI: https://doi.org/10.1007/s11032-024-01490-9

50. Song R. F., Hu X. Y., Liu W. C., Yuan H. M. ABA functions in low phosphate-induced anthocyanin accumulation through the transcription factor ABI5 in Arabidopsis. Plant Cell Reports. 2024;43:55. DOI: https://doi.org/10.1007/s00299-024-03146-6

51. Roginsky V., Lissi E. A. Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. Food Chemistry. 2005;92(2):235–254. DOI: http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.004

52. Ivanova K. A., Gerasimova S. V., Khlestkina E. K. The biosynthesis regulation of potato steroidal glycoalkaloids. *Vavilovsky zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018;22(1):25–34. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/VJ18.328

53. Ni J., Wang S., Yu W., Liao Y., Pan C., Zhang M. et al. The ethylene responsive transcription factor PpERF9 represses PpRAP2.4 and PpMYB114 via histone deacetylation to inhibit anthocyanin biosynthesis in pear. Plant Cell. 2023;35(6):2271–2292. DOI: https://doi.org/10.1093/plcell/koad077

54. Loo A. Y., Jain K., Darah I. Antioxidant and radical scavenging activitities of the pyroligneous acid from a mangrove plant, Rhizophora apiculate. Food Chemistry. 2007;104(1):300–307. DOI: https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2006.11.048

55. Galani J. H. Y., Monkad R. M., Shah A. K., Patel N. J., Acharya R. R., Talati J. G. Effect of storage temperature on vitamins C, total phenolics, UPLC phenolic acid profile and antioxidant activity of eleven potato varieties. Horticultural Plant Journal. 2017;3(2):73–89. DOI: https://doi.org/10.1016/j.hpj.2017.07.004

56. Mozaeva Yu. V., Pugacheva G. M., Papikhin R. V. Corta kartofelya s yarkoy tsvetnoy okraskoy klubney. *Nauka i obrazovanie*. 2022;5(2):278. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=49458818

57. Bikova I. V., Shmakov N. A., Afonnikov D. A., Kochetov A. V., Khlestkina E. K. Achievements and prospects of applying high-throughput sequencing techniques to potato genetics and breeding. *Vavilovsky zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(1):96–103. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/VJ17.227

58. Ermishin A. P., Levy A. V., Ageeva A. S., Voronkova E. V., Luksha V. I., Gukasyan O. N., Zharich V. M. Peculiarities of transfer of DNA markers of wild allotetraploid potato species *Solanum stoloniferum* to backcross progenies depending on their subgenomic location and used schemes of introgression. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2023;59(7):741–754. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0016675823070056

59. Kozlov V. A. Creation ofthe initialmaterialofthe potato with color pulp of tubers. *Kartofelevodstvo* = Potato Growing. 2014;22(1):29–34. (In Belarus). URL: https://potato.belal.by/jour/article/view/226

60. Diretto G., Al-Babili S., Tavazza R., Papacchioli V., Beyer P., Giuliano G. Metabolic engineering of potato carotenoid content through tuber-specific overexpression of a bacterial mini-pathway. PLoS One. 2007;2(4):e350. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000350

61. Ayoob K. T. Carbohydrate confusion and dietary patterns: unintended public health consequences of "food swapping". Frontiers in Nutrition. 2023;10:1266308. DOI: https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1266308

Сведения об авторах

Гулаева Надежда Васильевна, научный сотрудник, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. М. Тулайкова – филиал ФГБУН Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. К. Маркса, д. 41, пгт Безенчук, Самарская обл., Российская Федерация, 446254, e-mail: samniish@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0002-2515-7656**

✉ **Бакунов Алексей Львович,** кандидат с.-х наук, ведущий научный сотрудник, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. М. Тулайкова – филиал ФГБУН Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. К. Маркса, д. 41, пгт Безенчук, Самарская обл., Российская Федерация, 446254, e-mail: samniish@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4717-2040, e-mail: bac24@yandex.ru

Милехин Алексей Викторович, кандидат с.-х наук, заведующий лабораторией биотехнологии с.-х. растений, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. М. Тулайкова – филиал ФГБУН Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. К. Маркса, д. 41, пгт Безенчук, Самарская обл., Российская Федерация, 446254, e-mail: samniish@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0058-4195

Рубцов Сергей Леонидович, кандидат с.-х наук, ведущий научный сотрудник, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. М. Тулайкова – филиал ФГБУН Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. К. Маркса, д. 41, пгт Безенчук, Самарская обл., Российская Федерация, 446254, e-mail: samniish@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1559-107X

Вязовой Артем Алексеевич, младший научный сотрудник, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. М. Тулайкова – филиал ФГБУН Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. К. Маркса 41, пгт Безенчук, Самарская обл., Российская Федерация, 446254, e-mail: samniish@mail.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0009-0009-5973-0589**

Information about the authors

Nadezhda V. Gulaeva, researcher, Samara Scientific Research Agriculture Institute named after N. M. Tulaykov – branch of the Samara Federal Research Scientific Center of Russian Academy of Sciences, K. Marx str., 41, Samara region, Bezenchuk, Russian Federation, 446254, e-mail: samniish@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-2515-7656

✉ **Aleksey L. Bakunov,** PhD in Agricultural Science, leading researcher, Samara Scientific Research Agriculture Institute named after N. M. Tulaykov – branch of the Samara Federal Research Scientific Center of Russian Academy of Sciences, K. Marx str., 41, Samara region, Bezenchuk, Russian Federation, 446254, e-mail: samniish@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4717-2040, e-mail: bac24@yandex.ru

Aleksey V. Milekhin, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Biotechnology of Agricultural Plants, Samara Scientific Research Agriculture Institute named after N. M. Tulaykov – branch of the Samara Federal Research Scientific Center of Russian Academy of Sciences, K. Marx str., 41, Samara region, Bezenchuk, Russian Federation, 446254, e-mail: samniish@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0058-4195**

Sergey L. Rubtsov, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Samara Scientific Research Agriculture Institute named after N. M. Tulaykov – branch of the Samara Federal Research Scientific Center of Russian Academy of Sciences, K. Marx str., 41, Samara region, Bezenchuk, Russian Federation, 446254, e-mail: samniish@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1559-107X

Artiom A. Vyazovoy, junior researcher, Samara Scientific Research Agriculture Institute named after N. M. Tulaykov – branch of the Samara Federal Research Scientific Center of Russian Academy of Sciences, K. Marx str., 41, Samara region, Bezenchuk, Russian Federation, 446254, e-mail: samniish@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-5973-0589

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.25–40
УДК 636.39:636.035(470)

(cc) BY

Состояние и проблемы развития пухового козоводства России на примере оренбургской породы (обзор)

© 2026. А. А. Зеленченкова✉, Н. С. Колесник, П. Д. Лахонин, А. И. Богомолов
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», п. Дубровицы, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация

Пуховое козоводство России представлено малочисленными породами, имеющими ограниченный ареал распространения, и в нынешних условиях находящимися на грани исчезновения, особенно в критическом состоянии – популяция оренбургской породы коз. Изучение оренбургских коз продолжается по настоящее время, что говорит о наличии научно-практического интереса к этой породе. В данном обзоре приводится современное мировое и отечественное состояние козоводства. Особое внимание уделено проблемам и развитию пухового козоводства в РФ как одной из товарных отраслей сельскохозяйственного производства. Представлена информация об уникальной аборигенной оренбургской породе пуховых коз. Рассмотрены история создания и выведения породы, основные направления продуктивности и экстерьерные показатели животных. Дана внутрипородная характеристика оренбургских коз, показано качество пуха, а также приведены результаты генотипирования современных популяций оренбургских коз. Уделено внимание технологии вычёсывания пуха. Приведены исследования по изучению элементного, аминокислотного состава шерсти и пуха оренбургских коз за последние пять лет. В то же время при подготовке обзора прослеживается недостаточность исследований в области влияния нормированных рационов на рубцовое и кишечное пищеварение, физиологический статус, интенсивность роста и развития молодняка. Данная работа представляет свод последних экономических, научно-исследовательских и практических знаний о современном состоянии, проблемах и направленности сохранения отечественной пуховой оренбургской породы коз как одной из исключительных генофондных популяций, сохранившейся на территории России.

Ключевые слова: *козы, пуховая продуктивность, разведение, содержание, исследования*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (№ темы FGGN-2025-0006) в ходе реализации национального проекта "Наука и университеты".

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Зеленченкова А. А., Колесник Н. С., Лахонин П. Д., Богомолов А. И. Состояние и проблемы развития пухового козоводства России на примере оренбургской породы (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):25–40. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.25-40

Поступила: 19.03.2025 Принята к публикации: 29.01.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

The state and problems of the development of downy goat breeding in Russia on the example of the Orenburg breed (review)

© 2026. Alyona A. Zelenchenkova✉, Nikita S. Kolesnik, Pavel D. Lakhonin, Anton I. Bogomolov
Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Podolsk, Moscow region, Russian Federation

Downy goat breeding in Russia is represented by small-numbered breeds with a limited range, and in the current conditions they are on the verge of extinction, especially the population of the Orenburg goat breed is in critical condition. Current scientific research of Orenburg goats continues to the present time, which indicates the presence of scientific and practical interest in this breed. This review presents the current global and domestic state of goat breeding. Special attention is paid to the problems and development of down goat breeding in the Russian Federation, as one of the commodity branches of agricultural production. Information about the unique native Orenburg breed of downy goats is presented. The history of the creation and breeding of the breed, the main directions of productivity and the external indicators of animals are considered. The inbreeding characteristics of Orenburg goats are given, down quality indicators are considered, and the results of genotyping the modern gene pool of the Orenburg goat population are presented. Attention is paid to the technology of combing the down of Orenburg goats. The article presents studies on the elemental, amino acid composition of the wool and down of Orenburg goats over the past five years. At the same time, when preparing the review, there is a lack of research in the field of the influence of normalized diets of Orenburg goats on scar and intestinal digestion, physiological status, intensity of growth and development of young animals. This work presents a summary of the latest economic, scientific, research and practical knowledge about the current state, problems and trends in the preservation of the Russian downy Orenburg goat breed, as one of the exceptional gene pool populations preserved in Russia.

Keywords: *goats, down productivity, breeding, content, research*

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 Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (theme No. FGGN-2025-0006) during the implementation of the national project "Science and Universities".

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

Conflict of interest: the authors declare that there are no conflicts of interest.

For citation: Zelenchenkova A. A., Kolesnik N. S., Lakhonin P. D., Bogomolov A. I. The state and problems of the development of downy goat breeding in Russia on the example of the Orenburg breed (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):25–40. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.25-40

Received: 19.03.2025 Accepted for publication: 29.01.2026 Published online: 27.02.2026

Козоводство является крупной товарной отраслью сельскохозяйственного производства. При правильном соблюдении технологических норм содержания козы практически не подвержены заболеваниям, в том числе имеют высокую сопротивляемость маститу. Козий пух – это уникальное и высокоценное сырье для производства трикотажа и велюра, более ценное, чем овечья шерсть. Однако качество готовых изделий в значительной степени определяется качеством исходного сырья[1, 2] [1]. В последнее время пух оренбургских коз стали использовать в валяльно-войлочном производстве [2].

Для пуховых коз характерно компактное телосложение и крепкий костяк. Основное отличие от других пород – строение и состав шерстного покрова. На территории Российской Федерации (РФ) разводят три основные породы пуховых коз, которые в зависимости от типа шерстного покрова можно разделить на две группы: первая – оренбургская, у которой пух (так называемый подшерсток) короче ости; вторая – придонская и горноалтайская, у которых пух длиннее ости, а также помеси данных пород[3] [3].

У пуховых коз количество жиропота незначительное, но при этом содержание жира в козьем пухе выше, чем в верблюжьей и овечьей грубой шерсти[4] [2, 3]. В жиропоте содержится ланолин – воскоподобное вещество на основе стеаринового эфира, выделяемое кожей животных, которое защищает их шерсть. Ланолин является одним из главных составляющих компонентов всех противовоспалительных и антиаллергенных препаратов, поэтому козий пух не только не вызывает аллергической реакции, но и способствует устранению боли в суставах и мышцах, а предметы одежды из козьего пуха также могут содействовать профилактике простудных заболеваний и в целом оказывают общий укрепляющий эффект на организм [4, 5].

Волгоградская, Астраханская, Саратовская, Ростовская, Воронежская области, республики Татарстан, Башкортостан, Алтай, Хакасия, степные и горные районы Северного Кавказа, особенно Дагестан, Южный Урал, а также Центрально-Черноземный район и Восточная Сибирь – являются зонами пухового козоводства. Пуховые породы коз России имеют высокую продуктивность и по качеству пуха не имеют себе равных.

Оренбургская порода коз широко распространена в Оренбургской и Челябинской областях, а также в Башкирии, Татарстане, Казахстане и Средней Азии.

Выход пуха у оренбургских коз напрямую зависит от совокупности факторов: возраста, климата, условий чёски, наличия необходимых инструментов, качества кормов[5]. Производство пуха находится в непосредственной зависимости от общего количества поголовья коз и их индивидуальной продуктивности [1].

На сегодняшний день в хозяйствах Оренбургской области селекция животных ведется по фенотипу, при этом селекционными признаками являются окраска, масса и длина пуха. Наиболее часто встречаются следующие типы: чистопородные козы оренбургской породы (серые и белые) и помесные козы первого поколения (белая придонская × белая оренбургская) [6].

Главной задачей селекционной работы в козоводстве является сохранение в стране имеющихся родительских племенных стад и создание новых племенных хозяйств и ферм [7].

[1]Костомахин Н. В. Разведение с основами частной зоотехнии. СПб.: Лань, 2006. 448 с.
[2]Чикалёв А. И. Домашняя коза: значение, происхождение, проблемы качества и стандартизации в пуховом производстве: монография. Горно-Алтайск: РИО Горно-Алтайского госуниверситета, 2006. 169 с.
[3]Костомахин Н. В. Указ. соч.
[4]Там же.
[5]Ерохин А. И., Соколов В. В., Куц Г. А., Хромченков В. Д., Задумина В. И. Козоводство. М.: Издательство МСХА, 2001. 208 с.

Пуховое козоводство Оренбургской области сталкивается с такими проблемами, как несоответствие цен на продукцию, трудности с реализацией пуха и рост себестоимости производства, поскольку пух коз оренбургской породы не реализуется в полном объеме [1].

Цель обзора – обобщить результаты научных исследований, касающихся состояния и проблем развития пухового козоводства в России на примере оренбургской породы, для составления программ по сохранению уникальной породы и улучшения качества получаемой пуховой продукции.

Материал и методы. При составлении обзора использовали наукометрические базы данных: Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), Web of Science, Scopus, Google Scholar с отбором публикаций преимущественно за последние 5 лет. В качестве поискового запроса использовали слова и словосочетания: пуховое козоводство; оренбургская порода коз; козий пух; история оренбургского платка; экономика разведения пуховых коз; отечественное козоводство; исследования козьего пуха; технология содержания оренбургских коз. При поиске иностранных источников использовали ключевые слова: *goat breeding; goat down*. В процессе подготовки обзорной статьи дополнительно изучали книги, рекомендации, монографии. В результате поиска отобрано 44 источника, которые вошли в список использованной литературы.

Основная часть. *Анализ данных по состоянию и развитию отрасли козоводства на территории Российской Федерации и за рубежом.* С точки зрения численности, географического распространения и социально-экономического значения, козы являются одним из важнейших видов домашнего скота в мире [8].

За последние пять десятилетий мировая популяция коз продемонстрировала существенный рост, примерно на 240 %, тогда как популяции других видов домашнего скота либо оставались стабильными, либо сократились [9]. В настоящее время общее количество коз в мире превышает 1 миллиард особей, причем значительное большинство, более 94 %, находится в Азии (556 млн гол.) и Африке (388 млн гол.) [10]. А. Монтейро и др. (2017) обращают внимание, что примерно 97 % козьего мяса было произведено развивающимися странами, во главе с Китаем, на долю которого приходится около 38 % общего объема [11]. В 2019 году поголовье коз в Юго-Восточной Азии насчитывало около 39 млн голов, преимущественно в Индонезии, где их количество составляло примерно 19 млн[6]. В настоящее время во Вьетнаме насчитывается около 2,65 млн коз[7], в то время как в соседних с ним странах национальные популяции коз невелики (640 тыс. гол. в Лаосе и 26 тыс. гол. в Камбодже) [12, 13]. Результаты исследований подтверждают, что козоводческая отрасль значительно расширилась и продолжит расширяться в ближайшее десятилетие, но козоводство России, к сожалению, уступает в развитии.

В 2024 году отдел исследований Statista опубликовал данные, где указано, что в 2023 году поголовье сельскохозяйственных коз в России составило более 1,6 млн голов, достигнув минимального значения с 2003 года. В период с 2022 по 2023 год поголовье коз сократилось примерно на 116 тыс. голов[8]. На данный факт также в своей статье обращает внимание Н. А. Еремеева (2024) и добавляет: «По сосредоточению основного поголовья лидерами среди федеральных округов являются Сибирский федеральный округ с поголовьем 479,6 тыс. голов, далее Приволжский федеральный округ – 385,1 тыс. голов, на третьем месте Южный федеральный округ – 244,4 тыс. голов, на четвертом – Северо-Кавказский федеральный округ – 229,5 тыс. голов, пятерку лидеров замыкает Центральный с размером поголовья 227,2 тыс. голов» [14, С. 179].

В аналитическом обзоре Ю. А. Юлдашбаев с соавт. (2020) описывают: «По данным племенной службы российских регионов, к началу 2020 г. в сельскохозяйственных организациях поголовье коз молочных пород составляло 35,97 тыс. голов, из них зааненской породы – 82,7 %. Лидером по данной породе является Республика Марий Эл, на территории которой в 2019 г. поголовье коз этой породы составило 5 тыс. голов. Поголовье пуховых, шерстных и грубошерстных коз в сельхозорганизациях составляет 25,6 тыс., 28,6 тыс. и 7,2 тыс. голов, или 7,4 % численности всех

[6]Food and Agriculture Corporate Statistical Database. FAOSTAT; 2019. [Электронный ресурс]. URL: http://faostat.fao.org/ (дата обращения: 16.01.2025).
[7]Goat production in Vietnam from 2011 to 2022. Statista; 2024. [Электронный ресурс]. URL: https://www.statista.com/statistics/660802/vietnam-goat-production/ (дата обращения: 14.02.2025).
[8]Number of farm goats in Russia from 2003 to 2023. Statista; 2024. [Электронный ресурс]. URL: https://www.statista.com/statistics/1037844/russia-number-of-goats-in-farms/ (дата обращения: 14.02.2025).

пород соответственно. При этом 42,2 % поголовья коз, содержащихся в сельскохозяйственных организациях, не идентифицировано, что во многом определяет низкие технологические показатели производства продукции козоводства. В настоящее время наиболее востребованными являются козы молочных пород. *Пуховое и шерстное козоводство находится в кризисе, особенно в тяжелом положении – уникальная пуховая оренбургская порода коз.* При отсутствии государственной программы развития пухового и шерстного козоводства, обеспеченной финансированием, невозможно сохранить имеющиеся отечественные уникальные породы пуховых и шерстных коз»[9].

Согласно ежегодному отчету по племенной работе Федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийского научно-исследовательского института племенного дела (ФГБНУ ВНИИплем)[10], в Российской Федерации общая численность коз по состоянию на 31.12.2024 в хозяйствах всех категорий составила 1 млн 433,9 тыс. гол. По сравнению с предыдущим годом в хозяйствах всех категорий общее поголовье коз уменьшилось на 12,2 %. Удельный вес коз в сельскохозяйственных организациях составил 7,3 % (от их численности в хозяйствах всех категорий), козоматок – 8,9 %; в хозяйствах населения – 79,5 и 75,1 %, в крестьянско-фермерских хозяйствах – 13,2 и 16,0 % соответственно. В сельскохозяйственных организациях Российской Федерации разводят 11 пород коз: 5 молочных (45,4 % от общего поголовья животных в этой категории хозяйств), 4 пуховых (16,1 %), 1 шерстную (11,4 %) и 1 грубошерстную (0,4 %). По сравнению с предыдущим годом поголовье молочных коз снизилось на 3,3 %, шерстных – в 2,1 раза, пуховых – увеличилось на 18,2 %. Среди пуховых пород коз наибольшей численностью характеризовалась алтайская белая (5,9 тыс. гол.), наименьшей – оренбургская (0,6 тыс. гол.). Шерстное направление представлено советской породой, незначительным поголовьем грубошерстных коз – карачаевской (табл. 1).

Таблица 1 – **Поголовье коз в сельхозпредприятиях РФ на конец года, тыс. голов[11] /**
Table 1 – **Goat population in agricultural enterprises of the Russian Federation at the end of the year, thousands of heads**

Порода / Breed	*2020 г.*	*2021 г.*	*2022 г.*	*2023 г.*	*2024 г.*
Горноалтайская / Mountain Altai	9,70	8,90	8,90	6,30	5,40
Алтайская белая пуховая / Altai white downy	6,00	6,80	5,70	4,60	5,90
Оренбургская / Orenburg	**5,50**	**4,30**	**2,90**	**3,40**	**0,60**
Тувинская пуховая / Tuvan down	-	-	-	-	5,00
Советская шерстная / Soviet woolly	36,30	34,10	30,50	24,80	12,00
Карачаевская / Karachayevskaya	-	-	-	-	0,40
Зааненская / Zaanen	35,41	35,20	42,67	40,89	40,63
Альпийская / Alpine	5,14	5,10	6,71	6,70	5,47
Нубийская / Nubian	1,53	0,48	0,87	0,89	0,61
Мурсиано гранадина / Mursiana granadina	0,51	0,20	0,25	0,45	0,51
Тоггенбургская / Toggenburger	-	0,20	0,28	0,34	0,45
Итого по всем породам / Total for all breeds	100,26	95,96	98,96	88,38	76,97
В том числе по породам / Including by breeds:					
пуховым / downy	21,20	20,00	17,50	14,30	16,90
шерстным / wool	36,30	34,10	30,50	24,80	12,00
молочным / dairy	42,76	41,86	50,96	49,28	47,67
грубошерстным / rough wool	-	-	-	-	0,40
Неидентифицированные / Unidentified	30,14	33,84	30,44	30,92	27,93
Всего коз в сельскохозяйственных организациях / Total goats in agricultural organizations	130,40	129,80	129,40	119,30	104,90

[9]Юлдашбаев Ю. А., Морозов Н. М., Колосов Ю. А., Кузьмин В. Н., Кузьмина Т. Н., Свинарев И. Ю. Инновационные технологии содержания мелкого рогатого скота. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 80 с. (С. 11-12).
[10]Сафина Г. Ф., Луконина О. Н., Шичкин Г. И., Чернов В. В., Григорян Л. Н., Хмелевская Г. Н. и др. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации. Пушкино: ФГБНУ ВНИИплем, 2024. 334 с.
[11]Там же.

Дальнейшее сокращение маточного поголовья пуховых и шерстных коз может привести к полному исчезновению уникальных пород отечественной селекции. Так, на сегодняшний день на грани исчезновения находится пуховая порода коз – оренбургская.

Значение пухового козоводства. Современная селекционная работа в области пухового козоводства сосредоточена на выведении животных с длинными и тонкими волокнами подшёрстка разнообразной цветовой гаммы. Для активизации этого процесса внедрены нормативы и дифференцированная система закупочных расценок, учитывающая характеристики сырья. Волокно толщиной 18–24 мкм классифицируется как подходящее для ручного и механизированного изготовления трикотажа, тогда как более грубый материал (более 24 мкм) применяется в производстве элитных тканей и фетровых изделий. Особый спрос в пуховязальной отрасли наблюдается на белоснежное тонкое сырьё, необходимое для создания лёгких ажурных изделий «паутинок» и тёплых платков с мягкой текстурой. Ключевой породной характеристикой пуховых коз является длина ворса, которая варьирует в зависимости от зоны тела. Максимальный прирост волокон фиксируется осенью (сентябрь–ноябрь), к концу января их рост прекращается, а в феврале начинается естественная линька. Технологическая ценность сырья напрямую связана с равномерностью распределения длины пуха: чем меньше перепады между участками, тем выше эксплуатационные качества конечной продукции [15].

Пух оренбургских коз отличается особенно высокой упругостью, эластичностью и шелковистостью. Например, у придонских коз средняя тонина 20–23 мкм, длина волокна 8–10 см и более высокие начёсы, чем у коз оренбургской породы, однако технологические параметры их пуха не позволяют его использовать в производстве вместо продукции оренбургской породы[12].

Оренбургские козы в зависимости от внутрипородного типа обладают хорошими или удовлетворительными мясными качествами. Как известно, качество и пищевая ценность мясной продукции определяется её химическим составом: процентным соотношением белков, жиров, углеводов, микро- и макроэлементов, витаминов, содержанием незаменимых аминокислот, а также непредельных жирных кислот в жире [16].

Одним из способов повышения мясной продуктивности оренбургских коз является использование технологии интенсивного выращивания, при которой в дополнение к основному рациону вводят концентраты с повышенным содержанием переваримых белков [17].

Проблемам технологии содержания в пуховом и шерстном козоводстве посвящены работы В. И. Бойкова (1945), Г. Г. Зеленского (1981), С. С. Мишарева (1963), Х. Х. Мусалаева (2007), А. И. Чикалева (2008), Е. Б. Запорожцева (1991) и других. В трудах российских ученых В. В. Абонеева (2001, 2012), Ю. Д. Квитко (2012), Л. И. Брохина (2001, 2002), А.В. Кильпа (2012), М.Ю. Санникова (2005) и других авторов также отражены отдельные вопросы по кормлению и содержанию коз.

Наряду с хорошим содержанием коз, важным фактором благополучного их разведения является полноценное кормление. Козы лучше других сельскохозяйственных животных используют грубые и сочные корма, наиболее ценные – зеленая трава и сено. По данным ФГОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет», при выращивании пуховых и шерстных коз применение полноценных комбикормов в сравнении с обыкновенной дертью из зерна повышает шерстную и пуховую продуктивность козоматок на 7–10 %, а прирост живой массы – на 5-6 %. Кроме того, в результате исследований, проведенных ГНУ Оренбургский НИИСХ, было доказано, что интенсивное выращивание молодняка оренбургских коз, предусматривающее высокопротеиновое кормление и обогащение рациона метионином, положительно влияет на физические свойства (тонину) пуховых волокон подопытных козочек, увеличивает упруго-эластические свойства пуховых волокон, повышает начес пуха на 30,8 % (со 150,0 до 216,9 г в расчете на одну голову) [18].

История создания, выведения и становления пуховой оренбургской породы коз. В дореволюционной России козоводство было представлено, в основном, местными грубошерстными козами, которых держали для получения молока, мяса и в меньшей степени – шерсти и пуха. Одними из первых, кто заметил особенности качества пуха местных коз – женщины из семей казаков Первого отдела Оренбургского казачьего войска и частично – из Второго отдела. Мастерицы начали использовать его для изготовления легкого, теплого и необходимого в женском гардеробе платка.

[12]Волков А. Д. Овцеводство и козоводство. СПб.: Лань, 2022. 281 с.

При прядении козий пух превращался в чрезвычайно тонкую нить, похожую на паутину. Никакая овечья шерсть, лен, конопля и т. п. не были столь податливы и нежны при традиционной обработке. И уже в 1862 году платки из российской глубинки блистали на второй Всемирной выставке в Лондоне, за что мастерица-казачка Мария Ускова была удостоена медали «За шали из козьего пуха», диплома и 125 руб. серебром[13]. Далее не менее значимой была выставка в 1897 году в Чикаго[14].

В 1916 г. в стране насчитывалось 6,5 млн коз, однако, голод 1920-1921 гг. нанес большой удар пуховому промыслу, и козоводство практически сошло на нет[15].

В трудные годы Первой мировой и гражданской войн, а также в начале 1930-х гг. козы играли большую роль в обеспечении населения продуктами питания и сырьем для изготовления текстильных изделий.

Поскольку козоводство в тот период являлось малопродуктивным, была поставлена задача преобразования козоводства в высокопродуктивную отрасль разных направлений. С этой целью в 1933–1938 гг. Всесоюзный научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства (ВНИИОК, г. Ставрополь) совместно с опытными станциями и государственными племенными рассадниками обследовали основные зоны развития козоводства Средней Азии, Поволжья, Урала, юга Сибири и выявили ценные отродья аборигенных коз.

Природно-климатические особенности Оренбургской области, массовый отбор максимально продуктивных особей способствовали формированию уникального биоресурсного потенциала коз оренбургской породы, четко отличающихся от других пород и помесных особей по качеству продукции. Так, начатая в 1930-е гг. работа по преобразованию и совершенствованию козоводства завершилась созданием первой отечественной породы пуховых коз – оренбургской, а в 1932 году в пойме реки Губерли на южных отрогах Уральских гор основали первую в Оренбургской области козоводческую ферму [19, 20].

Поголовье коз в колхозах с 1935 по 1950 г. возросло в 4 раза. Невероятный скачок в производстве был связан с организацией новых артелей, а с 1939 года в Оренбурге начала работать первая фабрика по производству оренбургских пуховых платков. В 1955 году оренбургские пуховые платки были представлены на международных торговых выставках и ярмарках в Буэнос-Айресе, Лейпциге, Шанхае, Дели, Стокгольме, Вене.

Еще в XIX веке породой интересовались купцы из-за границы, которые пытались вывезти коз для разведения во Франции, Англии, Голландии, Австралии, но разводить их там не получилось. В течение двух-трех лет козы просто переставали отращивать оригинальный подшерсток. Сложный климат Оренбургской области с участием метелей, сильных ветров зимой, а также ярким и жгучим солнцем летом особенно сильно повлиял на формирование породы. Суровые условия оказали воздействие на приспособленность коз к окружающей среде посредством развития подшёрстка и лёгкого пуха, так как в других местах России подшёрсток терял свои свойства сохранять тепло и лёгкость[16]. Также такой пух может становиться более пушистым, что придаёт изделиям особенную мягкость и красоту. Длине же шерсти было уделено меньше внимания, ведь она вполне соответствовала требованиям[17].

Первоначально селекцией оренбургских и донских коз начал заниматься ВНИИОК с 1938 года, когда в совхоз «Губерлинский» были завезены 32 донских козла в возрасте полутора лет [19]. При этом 13 производителей отнесли к первой категории, в которой была приоритетна наибольшая живая масса и выход пуха, остальные 19 самцов – ко второй категории с меньшими продуктивными качествами. Живая масса животных варьировала от 29 до 43 кг, а выход пуха – от 300 до 780 г[18].

Для скрещивания были подобраны два стада коз, вес шерсти которых ранжировался от 150 до 200 г на особь. Нежелательные по определённым качествам самцы, получавшиеся от скрещивания, отбраковывались. Самки

[13]Сообщение о награждении медалями выставки, 1862. Бердская слобода, 2021. [Электронный ресурс]. URL: https://berdskasloboda.ru/soobshhenie-o-nagrazhdenii-medaljami-vystavki-1862/ (дата обращения: 11.03.2025).
[14]Волков А. Д. Указ. соч.
[15]Там же.
[16]Там же.
[17]Оренбургская коза лишь в Оренбуржье обретает качества пуховой. Центр координации образования и физического развития. 2013. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ckofr.com/orenburgskij-puhovyj-platok/80-orenburgskaya-koza (дата обращения: 11.03.2025).
[18]Москаленко Л. П., Филинская О. В. Козоводство. Ярославль: ФГОУ ВПО «Ярославская ГСХА», 2011. 197 с.

первого и второго поколений были выведены спариванием с местными особями. Как итог, поместные животные в бóльшей степени второго поколения обладали изменчивыми тактико-техническими характеристиками. Так, выход пуха варьировал от 150 до 800 г, содержание в шерсти пуха изменялось от 25 до 65 %, длина пуха – от 4,5 до 13,0 см, тонина – от 16 до 23 мкм. Помимо нестабильных показателей шерстной продуктивности были утрачены ценные качества оренбургского пуха, такие как тонкость, мягкость, эластичность, прочность и равномерный цвет[19].

Третьим этапом стал целенаправленный отбор оренбургской породы коз без использования скрещивания, который начался в 1990-х годах и продолжался практически 30 лет. Данный этап соответствовал нынешнему состоянию развития породы. На сегодняшний день отбор коз в оренбургских хозяйствах проводится по фенотипическим признакам: весу, окрасу, длине пуховой шерсти [21]. Как отмечает Н. Н. Пушкарев (2017): «На протяжении практически всего двадцатого столетия в племенной работе с оренбургской породой коз неоднократно менялся вектор отбора, а сам принцип селекции носил реципрокно-рекуррентный характер» [21, С.153]. В рамках популяции оренбургских коз на сегодняшний день выделяют пять производственных типов (табл. 2) [21].

Таблица 2 – **Типы оренбургской породы коз и их продуктивные качества [21] /**
Table 2 – **Types of the Orenburg breed of goats and their productive qualities [21]**

Продуктивные качества / Productive qualities	*Производственный тип / Productive type*				
	Оренбургский / Orenburg	*Желательный / Desired*	*Пуховый / Downy*	*Оренбургский белый / Orenburg white*	*Желательный белый / Desirable white*
Длина пуха, см / Down length, cm	3,0–6,5	6,0–8,0	7,0–10,0	5,0–7,5	6,0–9,0
Тонина, мкм / Tonin, microns	14,0-15,0	15,0–17,0	18,0–20,0	16,0-17,0	16,0–19,0
Весовое содержание пуховых волокон, % / Weight content of down fibers, %	30,0–45,0	45,0–60,0	50,0–70,0	45,0–50,0	45,0–60,0
Начёс пуха, $г^2$ / Fleece of down, g^2	250,0–400,0	450,0–600,0	500,0–700,0	450,0–550,0	500,0–600,0
Цвет / Colour	Тёмно-светло-серый / Dark light grey		Серый-светло-серый / Grey-light grey	Белый / White	
Живая масса козоматок/козлов, кг / Live weight of female/male goats, kg	44,0–46,0 / 75,0–78,0	42,0–45,0 / 72,0–76,0	42,0–44,0 / 70,0–75,0	43,0–45,0 / 72,0–76,0	42,0–45,0 / 70,0–74,0
Мясные качества / Meat qualities	Хорошие / Good		Удовлетворительные / Satisfactory	Хорошие / Good	Удовлетворительные / Satisfactory

В 2024 году созданный Национальный центр генетических ресурсов сельскохозяйственных животных при ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста провел сравнительный анализ популяций оренбургских коз, представляющих современный генофонд, на основе данных генотипирования и определения однонуклеотидных полиморфизмов SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*). В результате проведенного исследования был сделан вывод о том, что предковый генетический фон все еще присутствует во всех популяциях оренбургских коз, охватывающих выборку с 2017 по 2024 г., и уровень генетического разнообразия, рассчитанный для современных популяций оренбургской породы коз, не достигал критических значений. Анализ закономерностей распределения гомозиготности ROH (*Run of Homozygosity*) показал умеренный инбридинг во всех популяциях оренбургских коз [22].

[19]Тощев В. К., Царегородцева Е. В. Основы зоотехнии: козоводство. М.: Юрайт, 2025. 356 с.

Знания этологических особенностей сельскохозяйственных животных в условиях интенсивных технологий способствуют значительному повышению их продуктивности и укреплению здоровья[20].

Состояние оренбургской породы коз. Общая численность пуховых коз за последние пять лет сократилась почти в 2 раза. По данным ФГБНУ ВНИИплем,[21] в 2020 г. поголовье составляло 21,2 тыс. гол., в 2021 г. – 20,0 тыс. гол., в 2022 г. – 17,5 тыс. гол., в 2023 г. – 14,3 тыс. гол., в 2024 г. – 16,90 тыс. гол. В целом удельный вес оренбургских коз в 2020 г. составил 25,9 %, в 2021 г. – 21,5 %, в 2022 г. – 16,6 %, в 2023 г. – 23,8 %, в 2024 г. – 3,55 % от общего поголовья пуховых коз.

Динамика численности оренбургских коз за последние пять лет в зависимости от общего поголовья пуховых коз представлена на рисунке.

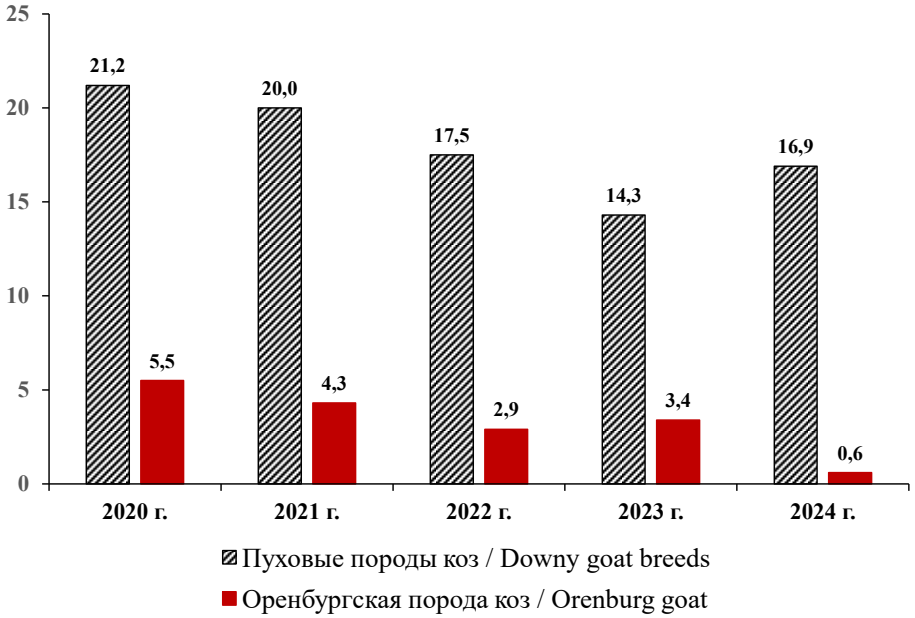


Рис. **Численность оренбургских коз относительно к общему поголовью пуховых коз за последние 5 лет, тыс. гол /**

Fig. **The number of Orenburg goats relative to the total population of downy goats for the last 5 years, thousands of heads**

С 2020 по 2021 г. отмечено наименьшее снижение поголовья оренбургских коз – на 1,2 тыс. гол., в 2022 г. численность сократилась на 2,6 тыс. гол. по сравнению с 2020 г. и на 1,4 тыс. гол. – с 2021 г. В то же время в 2023 г. наблюдается тенденция к увеличению поголовья на 0,5 тыс. гол., или на 17,24 % по сравнению с 2022 г. Однако этот показатель остается ниже уровней предыдущих лет.

Это обусловлено распространением более продуктивных пород, которые лучше приспособлены к местным экономическим и климатическим условиям, и слабой адаптацией оренбургских коз к разведению в других регионах страны. Но существует еще одна немаловажная проблема, связанная с реализацией пуха и увеличением себестоимости продукции – сокращение закупок пуха предприятиями, занимающимися его переработкой [1].

Технология в пуховом козоводстве. За последние пять лет значимые исследования по продуктивности и содержанию оренбургских коз провели ученые В. А. Панин, В. А. Сечин, М. А. Сечина, А. А. Жуков, А. В. Харламов, Н. И. Петров, М. К. Наумов, Г. И. Бельков и другие. Их работы охватывают широкий спектр тем, включая условия кормления, изучение элементного состава шерсти и прогнозирование продуктивности.

В работе В. А. Панина (2022) установлено, что в возрасте 37 месяцев козы пухового типа демонстрировали наибольшую продуктивность, превышая сверстниц оренбургского типа

[20]Москаленко Л. П., Филлинская О. В. Козоводство. СПб.: Лань, 2012. 272 с

[21]Сафина Г.Ф., Луконина О.Н., Шичкин Г.И., Чернов В.В., Григорян Л.Н., Хмелевская Г.Н. и др. Указ. соч.

по начёсу пуха на 25,25 %, а животных желательного типа – на 5,87 %. Козы желательного типа имели более высокий начес пуха – на 20,58 % в сравнении со сверстницами оренбургского [23]. Результаты эксперимента Н. И. Петрова с соавт. (2021) показали, что козы оренбургского типа демонстрируют более высокие показатели живой массы, удельной прочности волокон и тонкости пуха, что делает его оптимальным сырьём для производства премиальных товаров. В сравнении с ними, особи пухового типа выделяются увеличенным объёмом начёса, длиной ворса, долей пуха в общем покрове и абсолютной прочностью материала. При этом животные желательного типа по большинству анализируемых параметров занимают средние позиции [24].

Кроме влияния внутрипородного типа на продуктивность, исследователи оценивали введение интенсивного выращивания коз на территории Оренбургской области. Установлено, что интенсивное выращивание козочек является залогом повышенных показателей продуктивности и качества пуха и шкуры. Кроме того, в исследованиях представлены данные по суточному ритму коз, физиологическим маркерам (гематологические и биохимия показателей крови, частота дыхательных движений, частота сердечных сокращений, температура тела) и иммунологическому статусу [25].

В научной литературе встречаются эксперименты по включению метионина при интенсивном выращивании оренбургских коз [24, 26]. Связано это, в первую очередь, с более низким содержанием данной аминокислоты в составе кормов региона. Так, в рацион козочек опытных групп в возрасте 4–6 мес. добавляли метионин в дозе 11 мг на гол в сутки. При анализе полученных результатов чётко прослеживается тенденция к уменьшению тонины пуха в зависимости от интенсивности выращивания молодняка коз и введения в рацион метионина [27]. Незаменимая серосодержащая аминокислота играет важную роль в обмене веществ и способствует улучшению роста и качества продукции. Она служит предшественником для синтеза аполипопротеинов и S-аденозилметионина, которые участвуют в образовании таких важных соединений, как холин, карнитин, креатин, фолиевая кислота, ДНК и фосфолипиды. Кроме того, метионин необходим для синтеза цистеина, другой серосодержащей аминокислоты. Его недостаток может привести к ряду проблем, включая снижение аппетита, нарушение белкового обмена, атрофию мышц, анемию и ухудшение репродуктивных функций. Следует отметить, что метионин должен поступать в организм с пищей, так как он не синтезируется самостоятельно [28].

Исследование по рациональному кормлению молодняка коз выявило, что сенной тип кормления (53,3 % грубых кормов, 23,3 % сочных и 23,4 % концентратов) наиболее эффективен для молодняка коз оренбургской пуховой породы. Он способствует увеличению живой массы и прироста, а также повышению начеса пуха (на 11,9 % по сравнению с контрольной группой) [14].

В условиях Оренбургской области проведены исследования по изучению элементного и аминокислотного состава шерсти и крови оренбургских коз [29, 30, 31]. Установлено, что минеральный состав пуха и шёрстного покрова является индикаторным показателем, который указывает на концентрацию и активность химических элементов в других органах и тканях организма. Оценка элементного статуса коз обобщает информацию о состоянии обмена веществ и позволяет производить коррекцию с целью увеличения пуховой продуктивности [32].

Так, в проводимых исследованиях опытным козам давали кобальт хлористый – 3 мг, медь сернокислую – 5,5 мг, серу кормовую – 2 г. По уровню серосодержащих аминокислот и содержанию серы в пуховых волокнах преимущество отмечено у коз, получавших в составе комбикорма добавки микро- и макроэлементов, увеличилось содержание аминокислот в пухе на 0,22 г, серосодержащих аминокислот – на 0,05 г и серы – на 0,11 г по сравнению с контрольной группой [29]. Результаты исследования показали, что в возрасте 36 месяцев у коз оренбургской породы получены наилучшие показатели пуховой продуктивности, включая начёс пуха – 492,0 г (больше на 61,89 и 34,15 % по сравнению с возрастом в 12 и 60 месяцев соответственно), а также оптимальные физические свойства пуховых волокон [29].

Изменения элементного статуса в крови с возрастом включали в себя снижение концентрации марганца (Mn), меди (Cu), цинка (Zn) и селена (Se) до 36 месяцев с последующим увеличением к 60 месяцам, что указывает на необходимость возрастной коррекции рационов питания для повышения продуктивных качеств [28]. В пухе низкопродуктивных коз

больше содержится кальция (Ca), кадмия (Cd), кобальта (Co), магния (Mg), свинца (Pb), кремния (Si), стронция (Sr) и ванадия (V), уровень серебра (Ag) ниже по сравнению с высокопродуктивными [33]. Элементный состав пуха коз оренбургской породы находится в тесной связи с их продуктивными показателями (начёс и качество), что подтверждается достоверными корреляциями между многими исследуемыми элементами и позволяет применять показатели минерального состава пуха в процессе прогнозирования пуховой продуктивности коз [34].

Статья В. А. Панина [35] посвящена изучению влияния минеральной подкормки (серы кормовой, кобальта хлористого, меди сернокислой) на волосяные фолликулы и продуктивность пуховых коз оренбургской породы. Результаты эксперимента показали, что у коз, получавших подкормку, наблюдали увеличение начеса пуха на 0,14 кг, а также улучшение структуры волосяных фолликулов, включая рост числа вторичных фолликулов на 13,91 %, и их соотношения к первичным на 3,60 %. В другой работе исследователя [36] рацион дополняли теми же микроэлементами, которые в результате значительно улучшали показатели продуктивности коз оренбургской породы, увеличивая как объём начёса пуха, так и качество шерстного покрова. В результате проведенных исследований опубликован патент на способ прогнозирования пуховой продуктивности коз оренбургской породы по элементному составу шерсти [36]. Основой метода является анализ элементного состава шерсти (алюминий, стронций, калий) с последующим расчетом коэффициента токсической нагрузки, который позволяет классифицировать коз по продуктивному потенциалу.

Таким образом, в условиях Оренбургской области за последние 5 лет проведены исследования по изучению влияния нормированных рационов на пуховую и шерстную продуктивность оренбургских коз, однако до конца не изучено их действие на рубцовое и кишечное пищеварение. Не отражены данные по физиологической оценке, росту и развитию молодняка.

В научных исследованиях подчеркивается, что тип шерстного покрова оказывает значительное влияние на продуктивные характеристики данной породы. Это означает, что для эффективного отбора коз оренбургской породы, направленного на максимальное использование их генетического потенциала в процессе разведения, крайне важно установить четкие различия между этими типами.

Разведение коз оренбургского типа в климатической зоне Оренбуржья наиболее экономически выгодно – к такому выводу приходят ученые из Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН [37].

Пуховое козоводство представляет собой менее механизированную сферу животноводства, по сравнению с другими отраслями, где в основном используется ручной труд. Наиболее важной и трудоемкой задачей в пуховом козоводстве является вычесывание пуха из шерсти коз. Вычёсывание пуха осуществляется перед началом естественной линьки, когда на шерстном покрове появляются выпавшие и слегка свалявшиеся клочки пуха, которые легко отделяются от кожи [38]. Для облегчения вычесывания Н. И. Петров [38] предложил внутримышечное введение стресс-протекторов валухам оренбургской породы в возрасте четырех лет за 30 минут до чёски: 1%-й раствор ветранквила (0,4 мг на кг массы тела) и 2,5%-й раствор аминазина (1 мг на кг массы тела). Средний вес вычесанного пуха у валухов контрольной группы составил 410 г, что на 14 г (3,4 %; $p \leq 0,05$) меньше, чем в I опытной группе (р-р ветранквила), и на 21 г (5,4 %; $p \leq 0,05$) – чем во II опытной (р-р аминазина). Валухи I группы немного уступали по этому показателю сверстникам II группы. Время вычёсывания пуха в контрольной группе составило 32,8 минуты, что на 6,4 минуты (24,2 %; $p \leq 0,05$) больше, чем в I группе, и на 4,9 минуты (17,6 %, $p \leq 0,05$) – чем во II опытной. У животных контрольной группы во время вычёсывания наблюдали повышение температуры тела на 0,5 градуса (1,3 %; $p \leq 0,05$) и увеличение пульса на 13,2 удара в минуту (13,6 %; $p \leq 0,05$), у животных I и II опытных групп эти показатели остались в пределах нормы. Возможным решением для снижения трудоемкости и повышения производительности труда может быть механизация процесса вычесывания пуха. Необходимо обращать внимание на скоростной режим (чтобы избежать рывков и остановок устройства), конструкцию механического устройства и условия работы (влияние внешних факторов – температура и влажность) [39].

Снижение поголовья пуховых коз обусловлено отсутствием племенной базы, что характерно для отрасли козоводства в целом,

и крайне низкой степенью механизации технологических процессов по получению пуха от животных [39, 40]. Вычесывание пуха чаще всего осуществляется ручными гребнями. Использование механических устройств для чески пуха (автоматизированная вычёсывающая машина (АВМ), барабанная установка и т. д.) приводит к повреждениям кожного покрова. Более того, большую роль играет сезонность и, как следствие, сжатые сроки выполнения работы [41].

Для сохранения и улучшения породы пуховых коз в Оренбургской области используется чистопородное разведение и отбор маркерных генов [42]. Эффект этой целенаправленной селекционной программы зависит от количества отобранных признаков: чем больше признаков учитывается при отборе, тем меньше результативность отбора. Исходя из этого, в хозяйствах Оренбургской области отбор по фенотипу и частично по генотипу проводится с учетом двух основных признаков – массы и длины пуховой шерсти [43, 44].

Заключение. Пуховое козоводство России представлено малочисленными породами, имеющими ограниченный ареал распространения. По сравнению с другими странами поголовье коз в РФ сокращается, особенно наблюдается упадок уникальной оренбургской породы. В первую очередь, это связано с сокращением потребности в пухе текстильного производства, что может быть обусловлено его качеством, трудоёмкостью сбора сырья и низкой рентабельностью. Во вторую – слабой адаптацией данной породы к разведению в других регионах, что продлевает доставку сырья на дальние расстояния.

Исследования, проведенные за последние пять лет, подтверждают, что повышение продуктивности оренбургских коз возможно за счёт оптимизации кормления, введения минеральных добавок (сера, кобальт, медь) и незаменимых аминокислот, таких как метионин. Недостаточно изучено влияние нормированных рационов на рубцовое и кишечное пищеварение, также практически не представлены данные по физиологической оценке, росту и развитию молодняка в разных условиях содержания.

Интенсивное выращивание молодняка, селекция по фенотипическим и генетическим маркерам, а также сохранение чистопородного разведения способны улучшить качество пуха и мясные характеристики. Однако ключевой проблемой остаётся отсутствие племенной базы и технологическая отсталость процессов вычёсывания пуха, что увеличивает трудоёмкость и снижает конкурентоспособность продукции.

Сохранение и развитие пухового козоводства в России требуют комплексного подхода, включающего научные исследования, государственную поддержку и активное участие бизнеса. Оренбургская порода является не только частью национального наследия, но и перспективным ресурсом для развития сельского хозяйства и текстильной промышленности. Решение существующих проблем позволит сохранить эту уникальную породу для будущих поколений и укрепить позиции России на мировом рынке высококачественного текстиля.

Список литературы

1. Камнева Ю. Н., Безверхая Ю. Н. Состояние, тенденции и перспективы развития отрасли пухового козоводства в Оренбургской области. Молодой ученый. 2016;(7(111)):300–304.
Режим доступа: https://moluch.ru/archive/111/27592/ EDN: VTZBXF

2. Яньшина М. М., Тарасова О. П., Халиуллина О. Р. Оренбургский пух: новые варианты использования сырьевых ресурсов оренбургского региона и возможности создания экоодежды. Социально-гуманитарные инновации: стратегии фундаментальных и прикладных научных исследований: мат-лы Всероссийс. научн.-практ. конф. (с международ. участием). Оренбург: Оренбургский ГУ, 2021. С. 893–897.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=46610754 EDN: OIWTYH

3. Джанпаизова В. М., Ботабаев Н. Е., Калдыкулов М. С., Конысбеков С. М., Муталов Н. Б. Ешкі мамығын алғашқы өңдеу ағымдық технологиясын талдау. Вестник Казахского гуманитарно-юридического инновационного университета. 2019;(1(41)):125–129. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=37154416 EDN: ZALLFZ

4. Винокурова А. В., Вирзум Л. В. Ланолин – химическое соединение животноводства. Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России: сб. мат-лов Всеросс. научн.-практ. конф. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА им. акад. Д. К. Беляева, 2021. С. 208–211.

5. What's Under The Wool: Lanolin Wax and Lanolin Oil. Bulk Natural Oils Blog, 2021. [Электронный ресурс]. URL: https://blog.bulknaturaloils.com/2021/04/whats-under-the-wool-lanolin-wax-and-lanolin-oil/ (дата обращения: 13.02.2025).

6. Tarasova E. I., Frolov A. N., Lebedev S. V., Romanov M. N. Landmark native breed of the Orenburg goats: Progress in its breeding and genetics and future prospects. Animal Biotechnology. 2023;34(9):5139–5154.
DOI: https://doi.org/10.1080/10495398.2022.2154221

7. Санников М. Ю., Новопашина С. И. Современное состояние и перспективы развития козоводства в Российской Федерации. Сельскохозяйственный журнал. 2014;3(7):151–156.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=22635783 EDN: TBIUWJ

8. Miller B. A., Lu C. D. Current status of global dairy goat production: An overview. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2019;32(8):1219–1232. DOI: https://doi.org/10.5713/ajas.19.0253

9. Nguyen V. D., Nguyen C. O., Chau T. M. L., Nguyen D. Q. D., Han A. T., Le T. T. H. Goat Production, Supply Chains, Challenges, and Opportunities for Development in Vietnam: A Review. Animals. 2023;13(15):2546.
DOI: https://doi.org/10.3390/ani13152546

10. Mazinani M., Rude B. Population, world production and quality of sheep and goat products. American Journal of Animal and Veterinary Sciences. 2020;15(4):291–299. DOI: https://doi.org/10.3844/ajavsp.2020.291.299

11. Monteiro A., Costa J. M., Lima M. J. Goat system productions: Advantages and disadvantages to the animal, environment, and farmer. In: Goat Science. IntechOpen, 2017. pp. 351–366.
URL: https://www.intechopen.com/chapters/56453

12. Galon E. M., Zafar I., Ji S., Li H., Ma Z., Xuan X. Molecular reports of ruminant Babesia in Southeast Asia. Pathogens. 2022;11(8):915. DOI: https://doi.org/10.3390/pathogens11080915

13. Siengsanan-Lamont J., Kong L., Heng T., Khoeun S., Tum S., Selleck P.W. et al. Risk mapping using serologic surveillance for selected One Health and transboundary diseases in Cambodian goats. PLoS neglected tropical diseases. 2023;17(4):e0011244. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0011244

14. Ермеева Н. А. Состояние отечественной отрасли козоводства на современном этапе развития России. Russian journal of management. 2024;12(1):177–185. DOI: https://doi.org/10.29039/2409-6024-2024-12-1-177-185 EDN: NAOZFZ

15. Петров Н. И. Начёс и качество пуха коз оренбургской породы и помесей с козлами-производителями придонской породы. Животноводство и кормопроизводство. 2019;102(3):77–82.
DOI: https://doi.org/10.33284/2658-3135-102-3-77 EDN: OWVSUC

16. Pophiwa P., Webb E. C., Frylinck L. A review of factors affecting goat meat quality and mitigating strategies. Small Ruminant Research. 2020;183:106035. DOI: https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.106035

17. Бельков Г. И., Панин В. А. Качественные и количественные показатели мясной продуктивности коз оренбургской породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;(3(89)):304–307. DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-89-3-304-307 EDN: MORRHG

18. Бельков Г. И., Панин В. А. Влияние интенсивности выращивания коз оренбургской породы на волосяные фолликулы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022;(3(95)):352–356.
DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-352-356 EDN: WGMGTD

19. Бельков Г. И., Панин В. А. Особенности ведения козоводства в экологически неоднородных условиях. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2004;2(2-1):125–127.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=15263978 EDN: MWAOMT

20. Тарасова Е. И., Фролов А. Н., Лебедев С. В., Романов М. Н. История, разведение, селекция и генетика оренбургской породы коз. Молекулярно-генетические технологии анализа экспрессии генов продуктивности и устойчивости к заболеваниям животных: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. М.: изд-во «Сельскохозяйственные технологии», 2021. С. 450–454. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=46668874 EDN: WAWZAW

21. Пушкарёв Н. Н. Перспективы разведения коз оренбургской породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017;(3(65)):152–154. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=29747044 EDN: ZAYVAT

22. Deniskova T. E., Dotsev A. V., Abdelmanova A. S., Petrov S. N., Frolov A. N., Platonov S. A. et al. Genetic Diversity in the Orenburg Goat Breed Revealed by Single-Nucleotide Polymorphism (SNP) Analysis: Initial Steps in Saving a Threatened Population Genes (Basel). Genes. 2024;15(11):1375. DOI: https://doi.org/10.3390/genes15111375

23. Панин В. А. Особенности показателей кожно-волосяного покрова коз оренбургской породы разных типов. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2022;(4):175–182.
DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-65-4-175-182 EDN: AQZEBA

24. Петров Н. И., Панин В. А., Наумов М. К. Продуктивность коз оренбургской породы с различными типами шёрстного покрова. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;(4(90)):287–292. DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-90-4-287-292 EDN: FTXNLV

25. Панин В. А., Наумов М. К. Динамика физиологических показателей коз оренбургской породы при разной интенсивности выращивания. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022;(3(95)):340–346. DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-340-346 EDN: CIXHNR

26. Панин В. А. Повышение продуктивных качеств коз оренбургской породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;(2(88)):273–278.
DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-88-2-273-278 EDN: LGEPIB

27. Панин В. А. Тонина волокон шёрстного покрова коз оренбургской породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022;(3(95)):347–352.
DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-347-352 EDN: SPYHKH

28. Нохрина М. М., Абрамов А. В. Влияние лизина, метионина и витамина Д3 на биохимические процессы в организмах животных. Молодежь и наука. 2017;(6):31.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32306188 EDN: YMGTZF

29. Панин В. А. Формирование пуховой продуктивности коз оренбургской породы путем коррекции элементного статуса. Эффективное животноводство. 2023;(1(183)):91–93.
DOI: https://doi.org/10.24412/cl-33489-2023-1-91-93 EDN: IFYKLR

30. Панин В. А., Харламов А. В., Ильин В. В. Возрастные изменения продуктивных качеств и элементного статуса коз оренбургской породы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2024;(2(74)):208–217. DOI: https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-02-25 EDN: JBMSKD

31. Панин В. А. Влияние минеральной подкормки на волосяные фолликулы коз оренбургской породы. Пермский аграрный вестник. 2023;(2(42)):120–127. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_42_120 EDN: CFXFQW

32. Харламов А. В., Панин В. А., Петров Н. И., Бельков Г. И. Оценка элементного статуса организма коз оренбургской породы по химическому составу шерсти. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020;(6(86)):326–331. DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-86-6-326-331 EDN: ULYDKI

33. Панин В. А., Харламов А. В. Применение комплексной оценки при изучении минерального состава шерстного покрова коз оренбургской породы. Актуальные проблемы лечения и профилактики болезней молодняка: мат-лы Международ. научн.-практ. конф., посвящ 100-летию УО «Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины». (г. Витебск, 2-4 ноября 2023 г.). Витебск: ВГВАМ, 2023. С. 318–322. Режим доступа: https://repo.vsavm.by/handle/123456789/23502

34. Харламов А. В., Фролов А. Н., Панин В. А. Выявление особенностей элементного статуса коз оренбургской породы в зависимости от их продуктивных качеств. Пермский аграрный вестник. 2023;(4(44)):142–148. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_44_142 EDN: OAUFXZ

35. Панин В. А. Способ повышения показателей продуктивности коз. Эффективное животноводство. 2022;(2(177)):94–97. DOI: https://doi.org/10.24412/cl-33489-2022-2-94-97 EDN: YBCMBL

36. Фролов А. Н., Завьялов О. А., Харламов А. В., Дускаев Г. К., Рахматуллин Ш. Г. Способ прогнозирования пуховой продуктивности коз оренбургской породы по элементному составу шерсти: пат. № 2779832 Российская Федерация. № 2021131983: заяв. 02.11.2021; опубл. 13.09.2022. Бюл. №26. 8 с.
Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet

37. Харламов А. В., Панин В. А. Комплексная оценка показателей продуктивности коз оренбургской породы в условиях Оренбургского региона. Наука и образование. 2023;70(1-2):123–132.
DOI: https://doi.org/10.52578.2305-9397-2023-1-2-123-131 EDN: WYJXRR

38. Петров Н. И. Пути повышения начеса пуха у коз и облегчения труда по его вычёсыванию. Пермский аграрный вестник. 2023;(3(43)):99–104. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_43_99 EDN: LIFTRP

39. Ротова В. А., Козловцев А. П., Ушаков Ю. А., Герасименко И. В. Анализ зависимостей механических свойств пухового волокна от параметров и режима работы механического устройства для вычёсывания пуха у коз. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022;(4(96)):165–169.
DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-96-4-165-169 EDN: OUMVUX

40. Харламов А. В., Панин В. А., Бельков Г. И. Элементный статус белых коз оренбургской породы в зависимости от пуховой продуктивности. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;(2(88)):278–283. DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-88-2-278-283 EDN: JJBIZV

41. Хлопко Ю. А., Ротова В. А., Осипова А. М. Перспективные направления совершенствования процесса чески пуха коз с позиции сложной биотехнической системы «человек–машина–животное». Современные проблемы науки и образования. 2014;(5):252–252. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=22566619 EDN: SZVLSV

42. Петров Н. И. Сохранение генофонда коз оренбургской породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016;(4(60)):157–159. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=26586356 EDN: WJUNHN

43. Tarasova E. I., Frolov A. N., Lebedev S. V., Romanov M. N. Landmark native breed of the Orenburg goats: progress in its breeding and genetics and future prospects. Animal Biotechnology. 2023;34(9):5139–5154.
DOI: https://doi.org/10.1080/10495398.2022.2154221

44. Петров Н. И. Влияние крупногруппового содержания оренбургских коз в условиях комплекса на совершенствование породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018;(6(74)):253–255. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=36716482 EDN: YSUCPB

References

1. Kamneva Yu. N., Bezverkhaya Yu. N. The state, trends and prospects of development of the down goat industry in the Orenburg region. *Molodoy ucheny*. 2016;(7(111)):300–304. (In Russ.). URL: https://moluch.ru/archive/111/27592/

2. Yanshina M. M., Tarasova O. P., Khaliullina O. R. Orenburg fluff: new options for using the raw materials of the Orenburg region and the possibility of creating eco-clothing. Socio-humanitarian innovations: strategies of fundamental and applied scientific research: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference (with the international participation). Orenburg: *Orenburgsky GU*, 2021. pp. 893–897. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=46610754

3. Dzhanpaizova V. M., Botabaev N. E., Kaldikulov M. S., Konisbekov S. M., Mutalov N. B. Analysis of the existing technology of primary processing of goat fluff. *Vestnik Kazakhskogo gumanitarno-yuridicheskogo innovatsionnogo universiteta*. 2019;(1(41)):125–129. (In Kazakhstan). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=37154416

4. Vinokurova A. V., Virzum L. V. Lanolin is a chemical compound of animal husbandry. Agricultural science in the context of modernization and innovative development of the Russian agro-industrial complex: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference. Ivanovo: *FGBOU VO Ivanovskaya GSKHA im. akad. D. K. Belyaeva*, 2021. pp. 208–211.

5. What's Under The Wool: Lanolin Wax and Lanolin Oil. Bulk Natural Oils Blog, 2021. URL: https://blog.bulknaturaloils.com/2021/04/whats-under-the-wool-lanolin-wax-and-lanolin-oil/ (дата обращения: 13.02.2025).

6. Tarasova E. I., Frolov A. N., Lebedev S. V., Romanov M. N. Landmark native breed of the Orenburg goats: Progress in its breeding and genetics and future prospects. Animal Biotechnology. 2023;34(9):5139–5154. DOI: https://doi.org/10.1080/10495398.2022.2154221

7. Sannikov M. Yu., Novopashina S. I. Current state and prospects of goat breeding development in the Russian Federation. *Selskokhozyaystvenny zhurnal*. 2014;3(7):151–156. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=22635783

8. Miller B. A., Lu C. D. Current status of global dairy goat production: An overview. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2019;32(8):1219–1232. DOI: https://doi.org/10.5713/ajas.19.0253

9. Nguyen V. D., Nguyen C. O., Chau T. M. L., Nguyen D. Q. D., Han A. T., Le T. T. H. Goat Production, Supply Chains, Challenges, and Opportunities for Development in Vietnam: A Review. Animals. 2023;13(15):2546. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13152546

10. Mazinani M., Rude B. Population, world production and quality of sheep and goat products. American Journal of Animal and Veterinary Sciences. 2020;15(4):291–299. DOI: https://doi.org/10.3844/ajavsp.2020.291.299

11. Monteiro A., Costa J. M., Lima M. J. Goat system productions: Advantages and disadvantages to the animal, environment, and farmer. In: Goat Science. IntechOpen, 2017. pp. 351–366. URL: https://www.intechopen.com/chapters/56453

12. Galon E. M., Zafar I., Ji S., Li H., Ma Z., Xuan X. Molecular reports of ruminant Babesia in Southeast Asia. Pathogens. 2022;11(8):915. DOI: https://doi.org/10.3390/pathogens11080915

13. Siengsanan-Lamont J., Kong L., Heng T., Khoeun S., Tum S., Selleck P.W. et al. Risk mapping using serologic surveillance for selected One Health and transboundary diseases in Cambodian goats. PLoS neglected tropical diseases. 2023;17(4):e0011244. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0011244

14. Ermeeva N. A. The state of the domestic goat breeding industry at the current stage of development in Russia. Russian journal of management. 2024;12(1):177–185. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.29039/2409-6024-2024-12-1-177-185

15. Petrov N. I. Fleece and down quality of goats of the orenburg down breed and their crosses with breeder goats of the don breed. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* = Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(3):77–82. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33284/2658-3135-102-3-77

16. Pophiwa P., Webb E. C., Frylinck L. A review of factors affecting goat meat quality and mitigating strategies. Small Ruminant Research. 2020;183:106035. DOI: https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.106035

17. Belkov G. I., Panin V. A. Qualitative and quantitative indicators meat productivity of goats of the orenburg breed. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;(3(89)):304–307. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-89-3-304-307

18. Belkov G. I., Panin V. A. The effect of the intensity of cultivation of orenburg breed goats on hair follicles. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022;(3(95)):352–356. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-352-356

19. Belkov G. I., Panin V. A. Peculiarities of goat-raising under ecologically dissimilar conditions. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2004;2(2-1):125–127. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=15263978

20. Tarasova E. I., Frolov A. N., Lebedev S. V., Romanov M. N. History, breeding, selection and genetics of the orenburg goat breed. Molecular genetic technologies for analyzing gene expression of productivity and resistance to animal diseases: Proceedings of International scientific and practical conference. Moscow: *izd-vo «Selskokhozyaystvennie tekhnologii»*, 2021. pp. 450–454. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=46668874

21. Pushkaryov N. N. Prospects of breeding the orenburgsky goats. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2017;(3(65)):152–154. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29747044

22. Deniskova T. E., Dotsev A. V., Abdelmanova A. S., Petrov S. N., Frolov A. N., Platonov S. A. et al. Genetic Diversity in the Orenburg Goat Breed Revealed by Single-Nucleotide Polymorphism (SNP) Analysis: Initial Steps in Saving a Threatened Population Genes (Basel). Genes. 2024;15(11):1375. DOI: https://doi.org/10.3390/genes15111375

23. Panin V. A. Peculiarities of skin and integumentary parameters of Orenburg goats of different types. *Vestnik NGAU (Novosibirsky gosudarstvenny agrarny universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2022;(4):175–182. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-65-4-175-182

24. Petrov N. I., Panin V. A., Naumov M. K. Productivity of goats of the orenburg breed with different types of coat. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;(4(90)):287–292. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-90-4-287-292

25. Panin V. A., Naumov M. K. Dynamics of physiological parameters of goats of the orenburg breed at different rearing intensity. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022;(3(95)):340–346. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-340-346

26. Panin V. A. Improving the productive qualities of goats of the orenburg breed. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;(2(88)):273–278. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-88-2-273-278

27. Panin V. A. The thinning of the fibers of the coat of the orenburg breed goats. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022;(3(95)):347–352. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-347-352

28. Nokhrina M. M., Abramov A. V. The influence of lysine, methionine and vitamin D3 on biochemical processes in animal organisms. *Molodezh i nauka* = Youth and science. 2017;(6):31. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32306188

29. Panin V. A. Formation of down productivity of Orenburg breed goats by correcting the elemental status. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2023;(1(183)):91–93. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/cl-33489-2023-1-91-93

30. Panin V. A., Kharlamov A. V., Ilin V. V. Age-related changes in productive qualities and elemental status of orenburg breed goats. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i visshee obrazovanie*. 2024;(2(74)):208–217. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-02-25

31. Panin V. A. The effect of mineral supplements on the hair follicles ofgo ats of the orenburg breed. *Permskyy agrarny vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2023;(2(42)):120–127. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_42_120

32. Kharlamov A. V., Panin V. A., Petrov N. I., Belkov G. I. Estimation of the elemental status of goat orenburg breed by the chemical composition of the wool. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2020;(6(86)):326–331. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-86-6-326-331

33. Panin V. A., Kharlamov A. V. Application of a comprehensive assessment in the study of the mineral composition of the coat of orenburg goats. Actual problems of treatment and prevention of diseases of young animals: Proceedings of International scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Higher Educational institution "Vitebsk Order of «the Badge of Honor» State Academy of Veterinary Medicine". (Vitebsk, November 2-4, 2023). Vitebsk: *VGVAM*, 2023. pp. 318–322. URL: https://repo.vsavm.by/handle/123456789/23502

34. Kharlamov A. V., Frolov A. N., Panin V. A. Identification of the features of the elemental status of orenburg breed goats depending on their productive qualities. *Permsky agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2023;(4(44)):142–148. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_44_142

35. Panin V. A. A way to increase the productivity of goats. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2022;(2(177)):94–97. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/cl-33489-2022-2-94-97

36. Frolov A. N., Zavyalov O. A., Kharlamov A. V., Duskaev G. K., Rakhmatullin Sh. G. A method for predicting the down productivity of Orenburg breed goats based on the elemental composition of wool: Patent RF, no. 2779832, 2022. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet

37. Kharlamov A. V., Panin V. A. Comprehensive assessment of productivity indicators of orenburg breed goats in the conditions of the Orenburg region. *Nauka i obrazovanie*. 2023;70(1-2):123–132. (In Kazakhstan).
DOI: https://doi.org/10.52578.2305-9397-2023-1-2-123-131

38. Petrov N. I. Ways to increase the fleece of goat down and facilitate the combing process. *Permsky agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2023;(3(43)):99–104. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_43_99

39. Rotova V. A., Kozlovtsev A. P., Ushakov Yu. A., Gerasimenko I. V. Analysis of the dependences of the mechanical properties of down fiber on the parameters and operating mode of a mechanical device for combing down in goats. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022;(4(96)):165–169. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-96-4-165-169

40. Kharlamov A. V., Panin V. A., Belkov G. I. Elemental status of white goats of the orenburg breed depending on down productiv. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;(2(88)):278–283. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-88-2-278-283

41. Khlopko Yu. A., Rotova V. A., Osipova A. M. Perspective trends of improving the process of combing out the down of goats from a position of the complex biotechnical system "man-machine – animal". *Sovremennie problemi nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education. 2014;(5):252–252. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=22566619

42. Petrov N. I. Maintenance of the orenburg goats' gene pool. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2016;(4(60)):157–159. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=26586356

43. Tarasova E. I., Frolov A. N., Lebedev S. V., Romanov M. N. Landmark native breed of the Orenburg goats: progress in its breeding and genetics and future prospects. Animal Biotechnology. 2023;34(9):5139–5154.
DOI: https://doi.org/10.1080/10495398.2022.2154221

44. Petrov N. I. Influence of the large-group maintenance of orenburg goats under the conditions of the production complex for breed qualities impovement. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018;(6(74)):253–255. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=36716482

Сведения об авторах

✉ **Зеленченкова Алёна Анатольевна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией фундаментальных основ питания сельскохозяйственных животных и рыб, 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: info@vij.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8862-3648**, email: aly4383@mail.ru

Колесник Никита Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории фундаментальных основ питания сельскохозяйственных животных и рыб, 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: info@vij.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4267-5300**

Лахонин Павел Дмитриевич, младший научный сотрудник лаборатории фундаментальных основ питания сельскохозяйственных животных и рыб, 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: info@vij.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7354-0337**

Богомолов Антон Игоревич, аспирант лаборатории фундаментальных основ питания сельскохозяйственных животных и рыб, 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: info@vij.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0005-0841-8270**

Information about the authors

✉ **Aloyna A. Zelenchenkova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Fundamental Bases of Nutrition of Farm Animals and Fishes, 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: info@vij.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8862-3648**, email: aly4383@mail.ru

Nikita S. Kolesnik, junior researcher, the Laboratory of Fundamental Bases of Nutrition of Farm Animals and Fishes, 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: info@vij.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4267-5300

Pavel D. Lakhonin, junior researcher, the Laboratory of Fundamental Bases of Nutrition of Farm Animals and Fishes, 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: info@vij.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7354-0337

Anton I. Bogomolov, graduate student, the Laboratory of Fundamental Bases of Nutrition of Farm Animals and Fishes, 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: info@vij.ru,
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-0841-8270

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.41–52
УДК 577.117.2:597.4/.5

(cc) BY

Особенности метаболизма желчных кислот у рыб и их биологическое значение (обзор)

© 2026. А. В. Прусаков, М. С. Голодяева, В. С. Понамарёв✉
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Желчные кислоты у рыб, как и у других позвоночных, представляют собой сложную метаболическую систему, состав которой зависит от вида, возраста, кормовой базы и условий среды обитания. Их соотношение тесно связано с энтерогепатической циркуляцией – непрерывным циклом синтеза, транспорта, использования и реабсорбции желчных кислот, обеспечивающим поддержание их оптимальной концентрации в организме. В этот процесс вовлечены печень, желчные протоки, желчный пузырь и кишечник. Нарушения энтерогепатической циркуляции, обусловленные снижением синтеза или реабсорбции желчных кислот, могут приводить к патологиям желудочно-кишечного тракта рыб, проявляющимся расстройствами пищеварения и воспалительными процессами, что особенно актуально в условиях интенсивного рыбоводства. Цель данной работы – анализ научных публикаций, посвящённых метаболизму желчных кислот у рыб и их биологическому значению, выполненный в соответствии с методологическими рекомендациями Х. Снайдера по подготовке обзорных статей. Анализ литературы показал, что рыбы характеризуются значительно большим разнообразием желчных кислот по сравнению с другими позвоночными. Их метаболизм включает синтез первичных желчных кислот из холестерина в печени, их конъюгацию, участие в эмульгировании жиров в кишечнике и последующую реабсорбцию. Часть желчных кислот подвергается микробной трансформации в кишечнике с образованием вторичных и третичных форм, роль которых до конца не изучена. Глубокое понимание метаболизма желчных кислот у рыб имеет ключевое значение для профилактики заболеваний, повышения эффективности выращивания, изучения адаптационных и эволюционных механизмов у различных видов рыб.

Ключевые слова: *пищеварение рыб, желчь, энтерогепатическая циркуляция, жировой обмен, биомаркеры*

***Благодарности**:* исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00274, https://rscf.ru/project/25-26-00274/

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

***Конфликт интересов**:* авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Прусаков А. В., Голодяева М. С., Понамарёв В. С. Особенности метаболизма желчных кислот у рыб и их биологическое значение (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):41–52.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.41-52

Поступила: 10.03.2025 Принята к публикации: 22.01.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Features of bile acid metabolism in fish and their biological significance (review)

© 2026. Alexey V. Prusakov, Maria S. Golodyaeva, Vladimir S. Ponamarev✉
Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint Petersburg, Russian Federation

Bile acids in fish, as in other vertebrates, represent a complex metabolic system the composition of which depends on species, age, diet, and environmental conditions. Their ratio is closely associated with enterohepatic circulation—a continuous cycle of bile acid synthesis, transport, utilization, and reabsorption that maintains their optimal concentration in the body. This process involves the liver, bile ducts, gallbladder, and intestine. Disruptions of enterohepatic circulation caused by impaired bile acid synthesis or reduced intestinal reabsorption may lead to gastrointestinal pathologies in fish manifested by digestive disorders and inflammatory processes, which is especially relevant under intensive aquaculture conditions. The aim of the research was to analyze scientific publications focused on bile acid metabolism in fish and their biological significance, following the methodological recommendations for writing review articles proposed by H. Snyder. The literature analysis revealed that fish exhibit a significantly greater diversity of bile acids compared to other vertebrates. Their metabolism includes the synthesis of primary bile acids from cholesterol in the liver, their subsequent conjugation, participation in lipid emulsification in the intestine, and reabsorption. A portion of bile acids undergoes microbial transformation in the intestine, resulting in the formation of secondary and tertiary bile acids, whose roles are not yet fully understood. A comprehensive understanding of bile acid metabolism in fish is essential for the development of effective strategies for disease prevention, improvement of aquaculture efficiency, and the study of adaptive and evolutionary mechanisms in different fish species.

Key words: *fish digestion, bile, enterohepatic circulation, lipid metabolism, biomarkers*

***Acknowledgements**:* the research was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 25-26-00274, https://rscf.ru/project/25-26-00274/

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

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

For citations: Prusakov A. V., Golodyaeva M. S., Ponamarev V. S. Features of bile acid metabolism in fish and their biological significance (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):41–52. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.41-52

Received: 10.03.2025 Accepted for publication: 22.01.2026 Published online: 27.02.2026

Изучение пула желчных кислот у рыб представляет значительный интерес как для фундаментальной биологии, так и прикладных областей, таких как аквакультура и экотоксикология. Желчные кислоты играют ключевую роль в эмульгировании жиров и их всасывании в кишечнике, что важно для обмена веществ и поддержания здоровья рыб. Кроме того, состав и концентрация желчных кислот могут служить индикаторами состояния здоровья и питания рыб, а также отражать воздействие различных экологических факторов.

В аквакультуре понимание динамики пула желчных кислот может помочь в оптимизации кормовых рационов и улучшении переваривания пищи, что напрямую влияет на рост и продуктивность рыб. В контексте экотоксикологии, желчные кислоты могут служить биомаркерами воздействия загрязнителей. Некоторые токсичные вещества, такие как полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и тяжелые металлы, могут нарушать метаболизм желчных кислот, что отражается на их составе и концентрации. Таким образом, мониторинг пула желчных кислот у рыб может быть использован для оценки состояния водных экосистем и выявления загрязнений.

Кроме того, изучение желчных кислот у рыб может способствовать пониманию эволюционных аспектов метаболизма. Рыбы представляют собой разнообразную группу организмов, и сравнительный анализ пула желчных кислот у различных видов может дать ценные знания об эволюционных изменениях метаболических путей.

Таким образом, актуальность изучения пула желчных кислот у рыб обусловлена их важностью для физиологии рыб, потенциалом для улучшения практик аквакультуры, возможностью использования в качестве биомаркеров в экотоксикологии и вкладом в понимание эволюционных процессов.

У рыб, как и у иных позвоночных, желчные кислоты имеют сложный метаболизм, обусловленный их энтерогепатической циркуляцией [1], значение которой заключается в поддержании их постоянной концентрации в организме[1]. К органам энтерогепатического цикла у рыб относятся печень, желчные протоки, желчный пузырь и кишечник [2]. Нарушения кислотного статуса желчных кислот у рыб могут быть обусловлены повышенной экскрецией в связи со снижением их реабсорбции или синтеза [3], что сопряжено с развитием множества патологий желудочно-кишечного тракта. Для понимания патогенеза их развития и проведения адекватной коррекции при разведении рыб необходимы четкие данные о составе, биологических свойствах и особенностях метаболизма желчных кислот.

Цель обзора – поиск и анализ информации из научных публикаций, посвященных метаболизму желчных кислот у рыб и их биологическому значению.

Основные задачи исследования:

- проанализировать данные в научной литературе на предмет общих сведений о строении и метаболизме жёлчных кислот у животных;

- рассмотреть процесс энтерогепатической циркуляции желчных кислот;

- выявить отличительные особенности вышеперечисленного у рыб.

Материал и методы. При составлении текста работы подбор и анализ научных публикаций осуществляли в соответствии с рекомендациями к написанию обзорных статей Х. Снайдера [4]. Отбор публикаций выполняли с использованием интегративного подхода без учета их цитируемости, а именно:

1. Определение ключевых слов и фраз, наиболее точно отражающих тему обзора: пищеварение рыб; желчные кислоты; энтерогепатическая циркуляция; жировой обмен; биохимия пищеварения у рыб; физиологические особенности рыб; гепатопатии рыб.

2. Выбор научных баз данных, позволяющих обеспечить наиболее широкий охват научной литературы: eLIBRARY; Pubmed; Scopus (Elsevier); Web of Science (Clarivate).

[1]Агафонова Н. А. Постхолецистэктомический синдром: вопросы диагностики и лечения. М.: Прима Принт, 2015. 68 с.

3. Поиск и сбор научной литературы включали: использование ключевых слов для поиска статей, начиная с последних работ и продвигаясь к более ранним; применение фильтров для ограничения поиска по типу публикации (исследовательские статьи, диссертации, обзоры); сбор ссылок на работы, которые касаются как современных, так и исторических исследований.

4. На основе проведённого анализа были выбраны 77 наиболее значимых исследований отечественных и зарубежных авторов для включения в обзор.

Основная часть. *Строение и метаболизм желчных кислот.* По своей природе желчные кислоты являются стероидными соединениями, в основе которых лежит каркас из четырех углеродных колец, часто находящихся в соединениях с таурином, цистеином или сульфатными группами [5].

В зависимости от физико-химических свойств желчные кислоты подразделяются на гидрофобные (холевая, деоксихолевая и литохолевая) и гидрофильные (урсодезоксихолевая и хенодезоксихолевая) [6]. Первые стимулируют выход в желчь холестерина и фосфолипидов, участвуют в эмульгации жиров в кишечнике и стимулируют панкреатическую липазу, обладают выраженными детергентными свойствами и снижают синтез α-интерферона клетками печени. Вторые также участвуют в эмульгации жиров и помимо этого снижают абсорбцию холестерина в кишечнике, а также интенсивность его синтеза и поступления в желчь. Как антагонисты гидрофобных желчных кислот, гидрофильные снижают их детергентное действие и стимулируют синтез α-интерферона [7]. Желчные кислоты принято подразделять на первичные, вторичные и третичные [6].

Метаболизм желчных кислот включает в себя химические превращения, происходящие в печени и кишечнике во время их циркуляции по энтерогепатическому циклу [8].

Предшественником синтеза желчных кислот является холестерин [9, 10]. Биосинтез желчных кислот – один из главных путей выведения холестерина из организма, а сами желчные кислоты являются конечными продуктами его метаболизма в печени [7]. По своей химической природе желчные кислоты представляют собой производные холановой кислоты, то есть это оксикислоты, имеющие в составе своих молекул фенантренциклопентан (андростан). С биологической точки зрения, наиболее важными являются желчные кислоты, находящиеся в виде слабощелочных натриевых солей, а также в соединениях с аминокислотами[2].

Из холестерина образуются первичные желчные кислоты. К последним относятся холевая и хенодезоксихолевая [9, 10], которые синтезируются гепатоцитами в виде конъюгатов, что увеличивает их растворимость. В основном желчные кислоты конъюгируют с таурином и глицином [7, 11]. Однако встречаются их сульфатированные формы и соединения с глюкуроновой кислотой. Эти соединения снижают токсичность желчных кислот [7].

Желчные кислоты участвуют во многих обменных процессах, нарушения которых неизбежно сопряжены с развитием патологий желудочно-кишечного тракта и печени. При схожем химическом строении каждая из желчных кислот отличается своими физическими и биологическими параметрами [7].

Понижение уровня концентрации желчных кислот в просвете кишечника приводит к нарушению абсорбции жиров. Это обусловлено тем, что они, являясь поверхностно активными веществами, адсорбируются на поверхности капелек жира, препятствующих их конгломерации друг с другом [7]. В результате образуется мелкодисперсная жировая эмульсия, а входящие в ее состав мельчайшие капельки жира способны активно проникать через щеточную кайму энтероцитов.

Помимо основной задачи – участие в переваривании и абсорбции жиров желчные кислоты играют важную роль в поддержании кишечного барьера, оказывают бактериостатическое действие и способствуют нормальному функционированию кишечного микробиома [12], облегчают всасывание кальция [13].

Они способны регулировать оптимальный видовой состав микробиома как прямо, так и косвенно путем активации генов врожденного иммунного ответа в тонкой кишке [14, 15], препятствуя избыточному бактериальному росту [16, 17]. Например, некоторые первичные желчные кислоты могут влиять на прорастание спор *Clostridioides difficile* [18]. Также доказан их угнетающий эффект в отношении патогенных видов *Blautia coccoides* и *Bacteroides thetaiotaomicron* [19].

[2]Ковалёва И. В., Поддубная О. В. Химия. Биохимия пищеварения: курс лекций. Горки: БГСХА, 2019. 76 с.

Участвуя в процессах пищеварения, желчные кислоты активизируют панкреатическую липазу и деятельность некоторых протеаз, усиливают перистальтику кишечника, осаждают пепсин, предохраняя этим трипсиноген от разложения. В свою очередь, липаза гидролизует эмульгированные жиры с образованием глицерина и высших жирных кислот, концентрация которых в составе химуса гуморально усиливает отделение желудочного сока[3]. Поджелудочная железа секретирует помимо панкреатической липазы фосфолипазу и карбоксилэфирлипазу [20]. Считается, что последняя у морских рыб является доминирующей из всех липаз, выделяемых поджелудочной железой [21]. Также желчные кислоты обеспечивают денатурацию белков пищи, способствуя ускорению их расщепления [7].

Соединяясь в составе химуса кишечника с плохо растворимыми в воде жирными кислотами, желчные кислоты образуют водорастворимые парные комплексные соли (жирная кислота + желчная кислота), способные легко всасываться. Таким образом, за счет данного механизма жирные кислоты всасываются с помощью желчных кислот, при этом их соединения с желчными кислотами непрочные. В цитоплазме энтероцитов соединения распадаются на свободные желчные и жирные кислоты. Последние из них соединяются с глицерином, в результате происходит ресинтез жиров. Считается, что для всасывания одной молекулы жирной кислоты требуется от двух до четырех молекул желчных кислот. Также желчные кислоты способствуют всасыванию каротинов, витаминов E, D и K, аминокислот, солей кальция и растительных стероидов[4, 5].

На уровне гепатоцитов желчные кислоты регулируют секрецию липидов, способствуют транспорту фосфолипидных соединений и митозу печеночных клеток при их регенерации, регулируют интенсивность собственного синтеза по механизму обратной отрицательной связи [7, 22, 23], помогают выведению многих ксенобиотиков, лекарственных соединений и тяжелых металлов [24, 25].

В составе билиарной системы желчные кислоты обеспечивают солюбилизацию и транспорт холестерина, органических анионов и катионов тяжелых металлов, стимулируют секрецию бикарбонатов холангиоцитами и способствуют их пролиферации при повреждениях, а также улучшают секрецию муцина эпителием желчного пузыря. При их недостатке в составе желчи в просвете желчного пузыря образуются холестериновые камни, наблюдается нарушение всасывания жирорастворимых витаминов и образование оксалатных камней в почках [7].

В толстой кишке желчные кислоты способствуют всасыванию воды, увеличивая пропульсивную моторику [7]. Желчные кислоты рассматриваются в качестве сигнальных молекул, участвующих в регуляции метаболизма триглицеридов, холестерина и поддержании энергетического баланса [26, 27].

Энтерогепатическая циркуляция желчных кислот. В образовании желчных кислот принимают участие 17 отдельных ферментов [28]. Однако ферменты, участвующие в их синтезе, распределены по гепатоцитам неравномерно. В зависимости от зонального расположения гепатоцита, в составе печеночной дольки их концентрация в цитоплазме и функциональная активность различны. Так, центрально расположенные гепатоциты, окружающие центральную вену дольки, отвечают преимущественно за синтез первичных желчных кислот. В свою очередь, гепатоциты периферии дольки, контактируя по бóльшей части с кровью, поступающей в печень по печеночной артерии и портальной вене, улавливают и транспортируют желчные кислоты, всосавшиеся в кишечнике [29].

В печеночных клетках синтез желчных кислот осуществляется в гладком эндоплазматическом ретикулуме путем окисления холестерина и укорочения его боковой цепи. Выведение желчных кислот из гепатоцитов в начальное звено билиарной системы печени – желчный капилляр осуществляется за счет двух переносчиков. Первый – «насос выведения желчных кислот (bile salt export pump)» участвует в транспорте одновалентных желчных кислот. Второй – «белок устойчивости ко многим лекарствам (multidrug resistance protein)» участвует в транспорте двухвалентных кислот, а также конъюгатов с глюкуроновой кислотой и сульфатированных форм [7].

[3]Ковалёва И. В., Поддубная О. В. Указ. соч.
[4]Там же.
[5]Ильченко А. А. Болезни жёлчного пузыря и жёлчных путей. Руководство для врачей. М.: Медицинское информационное агентство, 2011. 877 с. URL: https://djvu.online/file/e1rPOssLLJk4i

По билиарной системе печени первичные желчные кислоты транспортируются в составе желчи в кишечник [7, 11], где под влиянием его микробиома подвергаются гидроксилированию [9, 10].

Небольшое количество желчных кислот всасывается в начальном отделе тонкой кишки путем пассивной диффузии [30]. Однако бóльшая часть из них в дистальном участке тонкой кишки всасывается в кровь и через портальную вену следует обратно в печень [7, 11]. Таким образом, тонкая кишка участвует в поддержании гомеостаза желчных кислот [7]. При этом в энтероциты подвздошной кишки через их микроворсинки желчные кислоты поступают за счет апикального натрий-зависимого желчного транспортера [31]. Благодаря последнему в цитоплазму печеночной клетки поступает одна молекула желчной кислоты и два иона натрия [32]. По цитоплазме энтероцитов в направлении их базальной мембраны желчные кислоты транспортируются в связке с белком гастротропином. Достигнув базальной части клетки, они переносятся в сосуды кишки с помощью гетеродимерного транспортера OSTα/OSTβ [31, 33].

Не всосавшаяся в подвздошной кишке оставшаяся часть первичных желчных кислот поступает в толстую кишку, где она деконъюгируется и дегидроксилируется под действием анаэробной микрофлоры [34]. В результате этого первичные желчные кислоты превращаются во вторичные – литохолевую, дезоксихолевую [7, 11] и третичную – урсодезоксихолевую [6]. Данная трансформация желчных кислот под влиянием ферментов микрофлоры является механизмом их сохранения, дающим возможность обратной реабсорбции и снижения количества потерь [7]. Именно поэтому на энтерогепатическую циркуляцию существенное влияние оказывает состав микробиома кишечника.

Перечисленные выше желчные кислоты частично пассивно абсорбируются в толстой кишке [12], при этом литохолевая кислота, ввиду слабой растворимости, в основном выводится из организма в составе кала [35].

После реабсорбции вторичных и третичных желчных кислот происходит их конъюгация с глицином или таурином. Далее с током крови, также как и первичные, через систему воротной вены они возвращаются в печень. Таким образом, только незначительное количество желчных кислот попадает в общий кровоток [6]. В почках они подвергаются обратной реабсорбции, после чего через системный кровоток снова попадают в печень [36].

В гепатоцитах свободные желчные кислоты, всосавшиеся в кровь из кишечника, превращаются в конъюгированные и вновь поступают в желчный пузырь [6]. При этом незначительное количество утраченных желчных кислот для поддержания размера пула восполняется за счет их биосинтеза в печени [30].

Существует механизм – холангиогепатический шунт, благодаря которому некоторые желчные кислоты повторно абсорбируются эпителиоцитами желчных протоков и поступают обратно в гепатоциты [36].

На скорость синтеза желчных кислот оказывают влияние гормоны щитовидной железы, глюкокортикоиды, инсулин, а также циркадные ритмы [37, 38]. Образование желчных кислот может снижаться из-за использования в составе рациона растительных кормов, имеющих низкий уровень холестерина, необходимого для их синтеза [39]. На наличие желчных кислот в просвете кишечника у рыб влияет содержание сапонинов в составе корма [40].

Помимо этого, процесс их образования регулируется посредством механизма отрицательной обратной связи. Так, желчные кислоты, прошедшие энтерогепатический путь циркуляции и вернувшиеся в печень, подавляют в ней синтез первичных желчных кислот [30], благодаря ингибированию холестерин-7-альфа--гидроксилазы [7]. Данный процесс контролируется печеночным Х-рецептором (LXR) и кишечным ядерным фарнезоидным Х-рецептором [41][6]. Также существует физиологическая связь между повышением уровня синтеза желчных кислот и регуляцией метаболизма питательных веществ после приема пищи [30].

Отличительные особенности желчнокислотного пула у рыб. Желчь у рыб, как и большинство биологических жидкостей, состоит из воды, а также органических и неорганических веществ. К органическим относятся желчные кислоты, фосфатидилхолин, билирубин, биливердин, белки [24], холестерин, муцин, лецитин, витамины А, В и С, а также некоторые ферменты[7]. К неорганическим – различные основания, макро- и микроэлементы [24].

[6]Аминева В. А., Яржобек А. А. Физиология рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 200 с.
[7]Пегель В. А. Физиология пищеварения рыб. Томск: Издание Томского государственного университета, 1950. 206 с.

Цвет желчи у рыб зависит от их вида и содержания желчных пигментов. Билирубин придает ей желтоватый оттенок, а биливердин – зеленоватый [42].

Желчь форели (*Salmo trutta*) обычно имеет зеленовато-желтый цвет. Это связано с присутствием билирубина и биливердина, которые являются основными желчными пигментами. Желчь лосося (*Salmo salar*) часто имеет желтовато-зеленый оттенок [43]. Это обусловлено высоким содержанием билирубина и других желчных пигментов. У карпа (*Cyprinus carpio*) желчь может быть от светло-желтого до темно-зеленого цвета. Вариации в цвете могут быть обусловлены различиями в диете и метаболизме. У тилапии (*Oreochromis niloticus*) желчь обычно светло-желтого цвета, что связывают с их диетой, которая часто включает растительные компоненты. Желчь сельди (*Clupea harengus*) может быть от светло-желтого до зеленоватого цвета, что отражает различия в составе желчных пигментов. У сома (*Silurus glanis*) желчь может быть темно-зеленого или даже коричневого цвета, что определяется их диетой [42].

Желчные кислоты являются основным компонентом желчи. На их долю приходится около 60 % от общего количества органических соединений, входящих в состав желчи и около 67 % от ее сухого остатка [7]. Следует отметить существование термина «желчные кислоты», под которым принято объединять не только сами желчные кислоты, но и родственные им соединения (сернокислые эфиры желчных спиртов) [44].

При этом соотношение жёлчных кислот в составе желчи зависит от возраста и вида рыб [44].

У щуки (*Esox lucius*), окуня (*Perca fluviatilis*), карпа и других видов рыб превалируют холевая и хенодезоксихолевая кислоты [1, 45], однако у наваги (*Eleginus nawaga*) их содержание достаточно низкое, при этом литохолевая и дезоксихолевая кислоты обнаруживаются только в следовых количествах [44]. Уровень холевой кислоты заметно падает у двухлеток в сравнении с сеголетками. Это связано с замедлением скорости метаболизма у взрослой рыбы [1, 44, 45]. Различные виды рыб характеризуются уникальными характеристиками желчнокислотного пула. У морских рыб, таких как тунец (*Thunnus thynnus*) и лосось наблюдается преобладание секреции уникальных желчных кислот, которые более эффективно действуют в соленой воде, что связано с особенностями их обмена веществ и потребностью в адаптации к высокому содержанию солей.

Место обитания играет важную роль в формировании желчнокислотного пула. У рыб, обитающих в экосистемах с переменными условиями, таких как мангровые леса или эстуарии, жёлчные кислоты могут адаптироваться к изменению диетических привычек и уровня солености. Например, рыбы, живущие в солоноватой воде, способны синтезировать более широкую гамму желчных кислот, что увеличивает их устойчивость к изменениям в рационе и окружающей среде. Рыбы, обитающие в стабильных пресноводных или морских районах, имеют более узкий спектр желчных кислот, что отражает их специализированный характер питания.

Питание рыб оказывает значительное влияние на состав желчнокислотного пула. У хищных видов, таких как щука и морской окунь, большое количество желчных кислот связано с высокой долей жиров в их рационе. Эти виды используют желчные кислоты для эффективного переваривания и всасывания жиров, что имеет критическое значение для их энергетического метаболизма. Напротив, у фитофагов, таких как карпы и травоядные цихлиды (род *Cichla*), наблюдается более высокое содержание желчных кислот, направленных на переваривание сложных углеводов и клетчатки, что отражает адаптивные механизмы их питания.

Для оценки соотношения вышеуказанных кислот желчи часто применяют холатный показатель (отношение холевой кислоты к концентрации желчных кислот), который у рыб является видоспецифичным и зависит от разнообразия кормовой базы [46]. У форели и лосося холатный показатель один из самых высоких среди видов рыб [43]. Это связано с диетой богатой жирными кислотами, которые в процессе метаболизма должны быть эмульгированы. У карповых и сельдевых холатный показатель находится в умеренных значениях, что коррелирует с разнообразной диетой, состоящей из растительных и животных компонентов. Самым низким уровнем холатного показателя обладают сом и тилапия, в питании которых преобладают растительные компоненты [45]. Видоспецифичность холатного показателя подчеркивает важность учета биологических и экологических факторов при оценке пула

жёлчных кислот у рыб. Это имеет значение для понимания метаболических процессов, а также для разработки оптимальных кормовых рационов в аквакультуре и мониторинга экологического состояния водных экосистем.

При длительном голодании у рыб в составе желчного пузыря увеличивается объем накопленной желчи. Эта уникальная особенность обусловлена застоем желчи, так как она поступает в кишечник только при условии наличия в нем кормовых масс [47]. В этом случае содержащиеся в составе пищи желчные кислоты и аминокислоты стимулируют секрецию холецистокинина. Последний является пептидным гормоном, вызывающим сокращение желчного пузыря [42]. Следует отметить, что морские рыбы, в сравнении с пресноводными, обладают меньшим по объему желчным пузырем.

Благодаря наличию фосфолипидов и желчных кислот, холестерин в составе желчи находится в растворенном состоянии в виде смешенных мицелл [48]. Таким образом, желчные кислоты стабилизируют холестерин, а их смесь с ним и лецитином в определенных соотношениях способна к формированию ламеллярных жидкокристаллических структур. Литогенность желчи (способность образовывать желчные камни) у разных видов рыб различна, что, скорее всего, обусловлено особенностями их метаболизма. Так, у чешуйчатого карпа она значительно выше, чем у зеркального [49].

У рыб, не имеющих желудка, желчь вырабатывается в бóльшем объеме. Поскольку в желчи накапливаются вещества из окружающей среды [50], она может быть хорошим биомаркером при проведении биологических, экологических и токсикологических исследований [51].

Составляющие желчи в зависимости от их концентрации у рыб могут ограничивать рост микроорганизмов кишечника, регулируя тем самым состав его микробиома [52].

Желчь рыб содержит шесть макроэлементов – кальций, калий, магний, натрий, фосфор и серу, желчь морских рыб содержит больше калия и натрия в сравнении с пресноводными. Помимо макроэлементов желчь рыб богата микроэлементами. В ее составе можно выделить алюминий, мышьяк, барий, висмут, кобальт, хром, медь, железо, литий, цинк, галлий, титан, свинец, молибден, ванадий, талий, кадмий, марганец, никель, сурьму, селен и стронций [53]. Различия наблюдаются и у рыб из разных водоемов. Мышьяк и селен присутствуют исключительно в желчи морских видов рыб [53].

Таким образом, за счет наличия желчных кислот, белков, а также макро- и микроэлементов, входящих в состав желчи, она формирует физико-химическую среду кишечника [54].

Общее количество желчных кислот, следующих по пути энтерогепатической (портально-билиарной) циркуляции, принято называть их пулом, в составе которого они находятся в связанном состоянии с глицином и таурином [55]. Некоторые из желчных кислот у позвоночных выявляются в системном кровотоке, однако в норме уровень их содержания в плазме крови гораздо ниже, нежели в желчи, что достигается благодаря их эффективной экстракции при прохождении энтерогепатического цикла [56, 57].

При патологиях печени, связанных с поражением гепатоцитов, и как следствие этого, снижением их способности к абсорбции желчных кислот, концентрация последних в составе плазмы крови значительно повышается. Учитывая данное обстоятельство, повышение их уровня в крови может быть специфическим маркером, свидетельствующим о поражении печени [7].

Наибольшее влияние на обмен желчных кислот оказывает рацион рыб[8]. Это обусловлено тем, что образование холестерина в организме происходит из всосавшихся в кишечнике липидов[9] [58]. Однако имеются сообщения, что состав пищи не влияет на синтез первичных желчных кислот и желчных спиртов [58].

Из аминокислот у корейского морского окуня (*Sebastes koreanus*), атлантического лосося (*Salmo salar*) и радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) в конъюгации желчных кислот принимает участие только таурин [59, 60, 61, 62]. В свою очередь, желчные спирты конъюгируют с этерифицированным сульфатом. При этом конъюгированные желчные спирты и кислоты принято также называть «солями желчных кислот» [35].

[8]Ганиткевич Я. В. Роль желчи и желчных кислот в физиологии и патологии организма (экспериментальные исследования). Киев: Наукова думка, 1980. 179 с.
[9]Агафонова Н. А. Указ. соч.

В состоянии конъюгации желчные кислоты неспособны проникать через эпителиальную выстилку желчевыводящих путей и тонкой кишки, что обеспечивает их высокое содержание в составе желчи и химуса [63].

При хорошем рационе и интенсивном питании у рыб в крови возрастает концентрация аминокислот. Это ингибирует транспорт желчных кислот из крови в гепатоциты, что в конечном итоге обуславливает снижение их содержания в желчи [62].

Есть сообщения, что конъюгированные и неконъюгированные желчные кислоты и их соединения нередко используют в качестве вкусовых раздражителей у рыб [64]. Также желчные вещества являются у рыб наиболее эффективными стимуляторами обонятельной системы [65] и феромонами [66].

Использование большого количества растительного белка в составе рациона приводит к изменению уровня желчных кислот у рыб, что обуславливает снижение усвояемости липидов [23, 67].

С 2014 года желчные кислоты были одобрены в качестве кормовой добавки и сразу вызвали интерес в аквакультуре [64, 68]. У некоторых видов рыб экзогенные желчные кислоты, входящие в состав рациона питания, могут улучшать показатели роста, которые снижаются под воздействием диеты с высоким содержанием липидов и углеводов [62, 68].

Заключение. Желчнокислотный пул у рыб представляет собой уникальную и многообразную систему, которая варьирует в зависимости от видов, их мест обитания и питания. Это разнообразие обусловлено эволюционными адаптациями, направленными на оптимизацию обмена веществ в различных условиях.

У морских рыб, таких как осетровые (семейство *Acipenseridae*), может наблюдаться значительное количество уникальных желчных кислот, например 12α-гидроксихолелевая, которая оптимизирована для их солоноватой среды обитания. Эти кислоты способствуют более эффективному перевариванию жиров, присутствующих в их естественном рационе.

Пресноводные рыбы, такие как карп (*Cyprinus carpio*), демонстрируют другой подход к метаболизму желчных кислот. У карпов в желчи преобладают первичные желчные кислоты – холевая и хенодезоксихолевая, что позволяет эффективно переваривать растительную пищу, богатую углеводами. Это особенно важно для их питания, так как карпы являются всеядными и могут потреблять как растительные, так и животные корма, что требует более универсального подхода к метаболизму.

Хищные рыбы, например щука (*Esox lucius*), также показывают адаптации в своем желчнокислотном пуле. У щук наблюдается высокая концентрация желчных кислот, способствующих перевариванию жировой пищи, поскольку они кормятся другой рыбой, что делает желчные кислоты, такие как кетодезоксихолевая, важными для оптимизации их энергетических затрат.

Интересным случаем являются рыбы, обитающие в труднодоступных экосистемах – мангровые районы, где лунные рыбы (например, *Gobies*) могут адаптироваться к быстроменяющимся условиям диеты и солености. У этих рыб желчь зачастую содержит смесь различных желчных кислот, что позволяет им приспосабливаться как к пресноводной, так и соленой пище, выходя при необходимости на разнообразный диетический рацион. Вышепредставленные примеры иллюстрируют необходимость дальнейших исследований в рамках темы.

Таким образом, желчнокислотный пул у рыб является сложной и разнообразной системой, которая значительно варьирует в зависимости от видовых особенностей, среды обитания и диетических привычек. Эти отличительные характеристики играют важную роль в метаболических адаптациях и выживании рыб в различных экологических нишах. А дальнейшие исследования в данной области помогут глубже понять, как эволюция и экология рыб влияют на их физиологические процессы.

References

1. Попова О. С., Агафонова Л. А. Особенности метаболизма жёлчных кислот у рыб. Международный вестник ветеринарии. 2022;(1):61–65. DOI: https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.1.61 EDN: OJMMHT

Popova O. S., Agafonova L. A. Features of bile acid metabolism in fish. *Mezhdunarodny vestnik veterinarii* = International Journal of Veterinary Medicine. 2022;(1):61–65. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.1.61

2. Winston J. A., Rivera A., Cai J., Patterson A. D., Theriot C. M. Secondary bile acid ursodeoxycholic acid alters weight, the gut microbiota, and the bile acid pool in conventional mice. PLoS One. 2021;16(2):e0246161.
DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246161

3. Nordrum S., Krogdahl Å., Røsjø C., Olli J. J., Holm H. Effects of methionine, cysteine and medium chain triglycerides on nutrient digestibility, absorption of amino acids along the intestinal tract and nutrient retention in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) under pair-feeding regime. Aquaculture. 2000;186(3–4):341–360. DOI: https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00385-3

4. Snyder H. Literature Review as a Research Methodology: An Overview and Guidelines. Journal of Business Research. 2019;104:333–339. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

5. Goto T., Holzinger F., Hagey L. R., Cerrè C., Ton-Nu H.-T., Schteingart C. D. et al. Physicochemical and physiological properties of 5α-cyprinol sulfate, the toxic bile salt of cyprinid fish. Journal of Lipid Research. 2003;44(9):1643–1651. DOI: https://doi.org/10.1194/jlr.M300155-JLR200

6. Лялюкова Е. А., Ливзан М. А. Дисфункция сфинктера Одди и синдром избыточного бактериального роста в кишечнике. Лечащий врач. 2013;(1):1–7. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=21786148 EDN: SITKHR

Lyalyukova E. A., Livzan M. A. Oddi sphincter dysfunction and intestinal bacterial overgrowth syndrome. *Lechashchy vrach* = Lechaschi Vrach Journal**.** 2013;(1):1–7. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=21786148

7. Ильченко А. А. Жёлчные кислоты в норме и при патологии. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2010;(4):3–13. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15217896 EDN: MVAIUX

Ilchenko A. A. Bile acids in normal and pathological conditions. *Eksperimentalnaya i klinicheskaya gastroenterologiya* = Experimental & clinical gastroenterology. 2010;(4):3–13. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15217896

8. Zagoskin P. P., Erlykina E. I. Bile acids as a new type of steroid hormones regulating nonspecific energy expenditure of the body (review). Modern technologies in medicine. 2020;12(5):114–127. DOI: https://doi.org/10.17691/stm2020.12.5.13

9. Bosisio E., Ghiselli G. C., Kienle M. G., Galli G., Sirtori C. R. Effects of dietary soy protein on liver standards for nutritional studies. Journal of Nutrition. 1981;107. DOI: https://doi.org/10.1016/0022-4731(81)90052-2

10. Choi Y.-S., Ide T., Sugano M. Age-related change in the regulation of cholesterol metabolism in rats. Experimental Gerontology. 1987;22(5):339–349. DOI: https://doi.org/10.1016/0531-5565(87)90032-5

11. Гриневич В. Б., Сас Е. И. Физиологические эффекты жёлчных кислот. РМЖ. Медицинское обозрение. 2017;1(2):87–91. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32244071 EDN: YLAYZE

Grinevich V. B., Sas E. I. Physiological effects of bile acids. *RMZH. Meditsinskoe obozrenie*. 2017;1(2):87–91. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32244071

12. Le H. T. M. D., Lie K. K., Giroud-Argoud J., Rønnestad I., Saele Ø. Effects of Cholecystokinin (CCK) on Gut Motility in the Stomachless Fish Ballan Wrasse (*Labrus bergylta*). Frontiers in Neuroscience. 2019;13:553. DOI: https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00553

13. Sanyal A. J., Hirsch J. I., Moore E. W. Premicellar taurocholate enhances calcium uptake from all regions of rat small intestine. Gastroenterology. 1994;106(4):866–874. DOI: https://doi.org/10.1016/0016-5085(94)90744-7

14. Ramírez-Pérez O., Cruz-Ramón V., Chinchilla-López P., Méndez-Sánchez N. The role of the gut microbiota in bile acid metabolism. Annals of Hepatology. 2017;16(1):S15–S20. DOI: https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.5494

15. Xiong F., Wu S. G., Zhang J., Jakovlic I., Li W. X., Zou H. et al. Dietary bile salt types influence the composition of biliary bile acids and gut microbiota in grass carp. Frontiers in Microbiology. 2018;9:2209. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02209

16. Ильченко А. А., Мечетина Т. А. Синдром избыточного бактериального роста в тонкой кишке: этиология, патогенез, клинические проявления. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2009;(5):99–109. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15217838 EDN: MVAHYP

Ilchenko A. A., Mechetina T. A. Syndrome of excessive bacterial growth in the small intestine: etiology, pathogenesis, and clinical manifestations. *Eksperimentalnaya i klinicheskaya gastroenterologiya* = Experimental & clinical gastroenterology. 2009;(5):99–109. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15217838

17. Begley M., Gahan C. G., Hill C. The interaction between bacteria and bile. FEMS Microbiology Reviews. 2005;29(4):625–651. DOI: https://doi.org/10.1016/j.femsre.2004.09.003

18. Allegretti J. R., Kearney S., Li N., Bogart E., Bullock K., Gerber G. K. et al. Recurrent Clostridium difficile infection associates with distinct bile acid and microbiome profiles. Alimentary Pharmacology and Therapeutics. 2016;43(11):1142–1153. DOI: https://doi.org/10.1111/apt.13616

19. Watanabe M., Fukiya S., Yokota A. Comprehensive evaluation of the bactericidal activities of free bile acids in the large intestine of humans and rodents. Journal of Lipid Research. 2017;58(6):1143–1152. DOI: https://doi.org/10.1194/jlr.M075143

20. Tocher D. R. Metabolism and Functions of Lipids and Fatty Acids in Teleost Fish. Reviews in Fisheries Science. 2003;11(2):107–184. DOI: https://doi.org/10.1080/713610925

21. Murray H. M., Gallant J. W., Perez-Casanova J. C., Johnson S. C., Douglas S. E. Ontogeny of lipase expression in winter flounder. Journal of Fish Biology. 2003;62(4):816–833. DOI: https://doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00067.x

22. Васильева О. Б., Назарова М. А., Рипатти П. О., Немова Н. Н. Липидный состав и оценка перекисного окисления липидов в органах и тканях рыб. В кн.: Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. С. 175–185.

Vasileva O. B., Nazarova M. A., Ripatti P. O., Nemova N. N. Lipid composition and assessment of lipid peroxidation in fish organs and tissues. In: Biota of the northern lakes under anthropogenic influence. Petrozavodsk: *Karelsky nauchny tsentr RAN*, 2012. pp. 175–185.

23. Немова Н. Н., Мурзина С. А., Нефедова З. А., Пеккоева С. Н., Рипатти П. О. Липидный статус молоди и взрослых особей беломорской сельди *Clupea pallasii marisalbi* Berg (Clupeiformes, Clupeidae). Доклады Академии наук. 2015;460(4):475. DOI: https://doi.org/10.7868/S0869565215040246 EDN: THIAIR

Nemova N. N., Murzina S. A., Nefedova Z. A., Pekkoeva S. N., Ripatti P. O. Lipid status of larvae and adults of the white sea herring *Clupea pallasii marisalbi* Berg (Clupeiformes, Clupeidae). *Dokladi Akademii nauk*. 2015;460(4):475. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.7868/S0869565215040246

24. Cresci G. A., Bawden E. The gut microbiome: what we do and don't know. Nutrition in Clinical Practice. 2015;30(6):734–746. DOI: https://doi.org/10.1177/0884533615609899

25. Burrin D., Stoll B., Moore D. Digestive physiology of the pig symposium: Intestinal bile acid sensing is linked to key endocrine and metabolic signaling pathways. Journal of Animal Science. 2013;91(5):1991–2000. DOI: https://doi.org/10.2527/jas.2013-6331

26. Di Ciaula A., Garruti G., Lunardi Baccetto R., Molina-Molina E., Bonfrate L., Wang D. Q., et al. Bile acid physiology. Annals Hepatology. 2017;16(1):S4–S14. DOI: https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.5493

27. Duane W. C., Javitt N. B. 27-hydroxycholesterol. Production rates in normal human subjects. Journal of Lipid Research. 2009;40(7):1194–1199. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10393204/

28. Kawamata Y., Fujii R., Hosoya M., Harada M., Yoshida H., Miwa M. et al. G protein-coupled receptor responsive to bile acids. Journal of Biol Chem. 2003;278(11):435–440. DOI: https://doi.org/10.1074/jbc.M209706200

29. Dawson P. A., Hubbert M. L., Rao A. Getting the mOST from OST: Role of organic solute transporter, OSTalpha-OSTbeta, in bile acid and steroid metabolism. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular and Cell Biology of Lipids. 2010;1801(9):994–1004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2010.06.002

30. Craddock A. L., Love M. W., Daniel R. W., Kirby L. C., Walters H. C., Wong M. H., Dawson P. A. Expression and transport properties of the human ileal and renal sodium-dependent bile acid transporter. American Journal of Physiology – Gastrointestinal and Liver Physiology. 1998;274(1):G157–169. DOI: https://doi.org/10.1152/ajpgi.1998.274.1.G157

31. Li T., Chiang Y. L. Bile acids as metabolic regulators. Current Opinion in Gastroenterology. 2015;31(2):159–165. DOI: https://doi.org/10.1097/MOG.0000000000000156

32. Chiang J. Y. L. Bile acids: regulation of synthesis. Journal of Lipid Research. 2009;50(10):1955–1966. DOI: https://doi.org/10.1194/jlr.R900010-JLR200

33. Евсютина Ю. В., Ивашкин В. Т. Метаболизм жёлчных кислот, заболевания печени и микробиом. Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2018;28(2):4–10. DOI: https://doi.org/10.22416/1382-4376-2018-28-2-4-10 EDN: XPPIPZ

Yevsyutina Yu. V., Ivashkin V. T. Metabolism of bile acids, liver diseases and microbiome. Rossiysky zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii = *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology*. 2018;28(2):4–10. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.22416/1382-4376-2018-28-2-4-10

34. Tabibian J. H., Masyuk A. I., Masyuk T. V., O'Hara S. P., LaRusso N. F. Physiology of Cholangiocytes. Comprehensive Physiology. 2013;3(1):541–565. DOI: https://doi.org/10.1002/cphy.c120019

35. Chiang J. Y. L. Regulation of bile acid synthesis. Frontiers in Bioscience-Landmark. 1998;3:176–193. DOI: https://doi.org/10.2741/a273

36. Mant N. B., Mitropoulos K. A. Cholesterol 7a-hydroxylase. Journal of Lipid Research. 1999;18(2):135–153. DOI: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/557521/

37. Yun B., Mai K., Zhang W., Xu W. Effects of dietary cholesterol on growth performance, feed intake and cholesterol metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) fed high plant protein diets. Aquaculture. 2011;319(1–2):105–110. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.06.028

38. Gu M., Kortner T. M., Pen M., Hansen A. K., Krogdahl Å. Effects of dietary plant meal and soya-saponin supplementation on intestinal and hepatic lipid droplet accumulation and lipoprotein and sterol metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). British Journal of Nutrition. 2013;111(3):432–444. DOI: https://doi.org/10.1017/S0007114513002717

39. Cruz-Garcia L., Minghetti M., Navarro I., Tocher D. R. Molecular cloning, tissue expression and regulation of liver X receptor (LXR) transcription factors of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology. 2009;153(1):81–88. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2009.02.001

40. Frisch K., Alstrup A. K. O. On the evolution of bile salts and the farnesoid X receptor in vertebrates. Physiological and Biochemical Zoology. 2018;91(2):797–813. DOI: https://doi.org/10.1086/695810

41. Boyer J. L., Soroka C. J. Bile formation and secretion: An update. Journal of hepatology. 2021;75(1):190–201. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhep.2021.02.011

42. Нефедова З. А., Мурзина С. А., Веселов А. Е., Рипатти П. О., Немова Н. Н. Разнокачественность липидных и жирнокислотных спектров у сеголеток атлантического лосося *Salmo salar* L., различающихся размерно-весовыми характеристиками. Сибирский экологический журнал. 2014;21(4):639–645. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=21949028 EDN: SMIBTV

Nefedova Z. A., Murzina S. A., Veselov A. E., Ripatti P. O., Nemova N. N. Heterogeneity of lipids and fatty acids of fingerlings of atlantic salmon *Salmo salar* L. different in weight and size. *Sibirsky ekologichesky zhurnal*. 2014;21(4):639–645. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=21949028

43. Nazarova M. A., Vasilyeva O. B., Ripatti P. O., Nemova N. N. Fatty acids of tissues of rainbow trout *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) depending on season, age, and forage composition. Doklady Biological Sciences. 2012;445(1):258–260. DOI: https://doi.org/10.1134/S0012496612040126

44. Шокурова А. В., Соловьев М. М., Кашинская Е. Н., Бочкарев Н. А., Власенко П. Г. Элементный состав желчи пресноводных костистых рыб из разнотипных озёр Сибири. Изучение водных и наземных экосистем: история и современность: тез. докл. Международ. научн. конф., посвящ. 150-летию Севастопольской биологической станции – Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий». Севастополь: ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», 2021. С. 456. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=46715001 EDN: FPQTCP

Shokurova A. V., Solovev M. M., Kashinskaya E. N., Bochkarev N. A., Vlasenko P. G. The elemental composition of the bile of freshwater bony fish from lakes of various types in Siberia. The study of aquatic and terrestrial ecosystems: the past and the present: theses of the International scientific conference, dedicated to the 150th anniversary of the Sevastopol Biological Station – the A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the South Seas and the 45th anniversary of the Research Vessel "Professor Vodyanitsky". Sevastopol: *FGBUN FITS «Institut biologii yuzhnikh morey imeni A. O. Kovalevskogo RAN»*, 2021. p. 456. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=46715001

45. Рипатти П. О. О связи состава желчных кислот с характером питания. Экологическая биохимия животных. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1978. С. 46–53.

Ripatti P. O. On the relationship between the composition of bile acids and the nature of nutrition. Ecological biochemistry of animals. Petrozavodsk: *Karelsky filial AN SSSR*, 1978. pp. 46–53.

46. Рипатти П. О., Попова Р. А., Бехтерева З. А. Изменчивость желчных кислот у рыб. Сравнительная биохимия рыб и их гельминтов. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1977. С. 56–61.

Ripatti P. O., Popova R. A., Bekhtereva Z. A. Variability of bile acids in fish. Comparative biochemistry of fish and their helminths. Petrozavodsk: *Karelsky filial AN SSSR*, 1977. pp. 56–61.

47. Yamago N. Isolation of allochenodeoxycholic acid from bile of carp (*Cyprinus carpio*). Yonago Acta Medica. 1971;15(1):18–20. DOI: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5151947/

48. Лежава Д. И. Количественное определение жёлчных кислот в жёлчи методом тонкослойной хроматографии. Лабораторное дело. 1969;(1):38–41.

Lezhava D. I. Quantitative determination of bile acids in bile by thin-layer chromatography. *Laboratornoe delo*. 1969;(1):38–41. (In Russ.).

49. Пронина Г. И., Ревякин А. О. Изменения морфофизиологических показателей карпа *Cyprinus carpio* при дефиците питания в условиях аквакультуры. Вопросы ихтиологии. 2015;55(2):241. DOI: https://doi.org/10.7868/S0042875215020204 EDN: TPWOCR

Pronina G. I., Revyakin A. O. Changes of the morphophysiological parameters of carp *Cyprinus carpio* at food limitation in aquaculture conditions. *Voprosi ikhtiologii* = Journal of Ichthyology. 2015;55(2):241. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.7868/S0042875215020204

50. Solovyev M. M., Shokurova A. V., Anishchenko O. V., Vlasenko P. G., Kashinskaya E. N., Andree K. B. Dependence of element composition of bile of freshwater and marine fishes on some abiotic and biotic factors. Frontiers in Marine Science. 2023;10:1217787. DOI: https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1217787

51. Hauser-Davis R. A., De Campos R. C., Bastos F. F., Ziolli R. L., de Campos R. C. Fish bile as a biomarker for metal exposure. Marine Pollution Bulletin. 2012;64(8):1589–1595. DOI: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.017

52. Spilsbury F., Foysal Md. Ja., Tay A., Gagnon M. M. Gut Microbiome as a Potential Biomarker in Fish: Dietary Exposure to Petroleum Hydrocarbons and Metals, Metabolic Functions and Cytokine Expression in Juvenile *Lates calcarifer*. Frontiers in Microbiology. 2022;13:827371. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.827371

53. Павлов Д. С., Нефедова З. А., Веселов А. Е., Немова Н. Н., Руоколайнен Т. Р., Васильева О. Б., Рипатти П. О. Липидный статус сеголеток атлантического лосося *Salmo salar* из разных микробиотопов реки Варзуга. Вопросы ихтиологии. 2008;48(5):679–685. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=11480067 EDN: JRFRMJ

Pavlov D. S., Nefedova Z. A., Veselov A. E., Nemova N. N., Ruokolainen T. R., Vasil'eva O. B., Ripatti P. O. Lipid status of fingerlings of the atlantic salmon *Salmo salar* from different microbiotopes of the Varzuga river. *Voprosi ikhtiologii* = Journal of Ichthyology. 2008;48(5):679–685. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=11480067

54. Hunn J. Inorganic Composition of Gallbladder Bile from Freshwater Fishes. American Society of Ichthyologists and Herpetologists (ASIH). 1976;3:602–605. DOI: https://doi.org/10.2307/1443389

55. Boesjes M., Brufau G. Metabolic effects of bile acids in the gut in health and disease. Current Medicinal Chemistry. 2014;21(24):2822–2829. DOI: https://doi.org/10.2174/0929867321666140303142053

56. Stroeve J. H., Brufau G., Stellaard F., Gonzalez F. J., Staels B., Kuipers F. Intestinal FXR-mediated FGF15 production contributes to diurnal control of hepatic bile acid synthesis in mice. Laboratory Investigation. 2010;90(10):1457–1467. DOI: https://doi.org/10.1038/labinvest.2010.107

57. Kakimoto T., Kanemoto H., Fukushima K., Ohno K., Tsujimoto H. Bile acid composition of gallbladder contents in dogs with gallbladder mucocele and biliary sludge. American Journal of Veterinary Research. 2017;78(2):223–229. DOI: https://doi.org/10.2460/ajvr.78.2.223

58. Kim G.-B., Brochet M., Lee B. H. Cloning and characterization of a bile salt hydrolase (*bsh*) from Bifidobacterium adolescentis. Biotechnology Letters. 2005;27(12):817–822. DOI: https://doi.org/10.1007/s10529-005-6717-3

59. Yamamoto T., Suzuki N., Furuita H., Sugita T., Tanaka N., Goto T. Supplemental effect of bile salts to soybean meal-based diet on growth and feed utilization of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Fisheries Science. 2007;73:123–131. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2007.01310.x

60. Kortner T. M., Penn M. H., Björkhem I., Måsøval K., Krogdahl Å. Bile components and lecithin supplemented to plant based diets do not diminish diet related intestinal inflammation in Atlantic salmon. BMC Veterinary Research. 2016;12:190. DOI: https://doi.org/10.1186/s12917-016-0819-0

61. Назарова М. А., Васильева О. Б., Рипатти П. О., Немова Н. Н. Концентрация липидных компонентов в мышцах радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1972) в зависимости от периода хранения биологического материала перед его фиксацией. Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2014;(5):157–162. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=22911657 EDN: THJTVT

Nazarova M. A., Vasileva O. B., Ripatti P. O., Nemova N. N. The concentration of lipid components in the muscles of rainbow trout *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1972) depending on the pre-fixation period. *Trudi Karelskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Transactions of the Karelian research centre of the Russian academy of sciences. 2014;(5):157–162. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=22911657

62. Romano N., Kumar V., Yang G., Kajbaf K., Rubio M. B., Overturf K. et al. Bile acid metabolism in fish: disturbances caused by fishmeal alternatives and some mitigating effects from dietary bile inclusions. Reviews in Aquaculture. 2020;12(3):1792–1817. DOI: https://doi.org/10.1111/raq.12410

63. Касумян А. О., Виноградская М. И. Вкусовая привлекательность жёлчных веществ для рыб. Вопросы ихтиологии. 2019;59(4):473–482. DOI: https://doi.org/10.1134/S0042875219040118 EDN: DGHJEE

Kasumyan A. O., Vinogradskaya M. I. Palatability of bile substances for fish. *Voprosi ikhtiologii* = Journal of Ichthyology. 2019;59(4):473–482. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.1134/S0042875219040118

64. Giaquinto P. C., Barreto R. E., Volpato G. L., Fernandes-de-Castilho M. Bile acids as potential pheromones in pintado catfish Pseudoplatystoma corruscans (Spix & Agassiz, 1829): eletrophysiological and behavioral studies. Neotropical Ichthyology. 2015;13(1):237–244. DOI: https://doi.org/10.1590/1982-0224-20140013

65. Krogdahl Å. Alternative protein sources from plants contain antinutrients affecting digestion in salmonids. Proceedings of the Third International Symposium Feeding of Nutrition Fish. Japan, 1989. pp. 253–261.

66. Giaquinto P. C., Hara T. J. Discrimination of bile acids by the rainbow trout olfactory system: Evidence as potential pheromone. Biological Research. 2008;41(1):33–42. DOI: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18769761/

67. Yao T., Gu X., Liang X. F., Fall F. N., Cao A. Z., Zhang S. S. et al. Tolerance assessment of dietary bile acids in common carp (*Cyprinus carpio* L.) fed a high plant protein diet. Aquaculture. 2021;543:737012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737012

68. Wang L., Sagada G., Wang Ch., Liu R., Li Q., Zhang Ch., Yan Yu. Exogenous bile acids regulate energy metabolism and improve the health condition of farmed fish. Aquaculture. 2023;562:738852. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738852

Сведения об авторах

Прусаков Алексей Викторович, доктор вет. наук, заведующий кафедрой внутренних болезней животных, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», ул. Черниговская, д. 5, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196084, e-mail: nir@spbguvm.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5582-5155

Голодяева Мария Сергеевна, кандидат вет. наук, доцент кафедры внутренних болезней животных, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», ул. Черниговская, д. 5, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196084, e-mail: nir@spbguvm.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4059-526X**

✉ **Понамарёв Владимир Сергеевич,** кандидат вет. наук, доцент кафедры фармакологии и токсикологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», ул. Черниговская, д. 5, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196084, e-mail: nir@spbguvm.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6852-3110, e-mail: psevdopyos@mail.ru

Information about the authors

Alexey V. Prusakov, DSc in Veterinary Science, Head of the Department of Animal Internal Medicine, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Chernigovskaya St., 5, Saint Petersburg, Russian Federation, 196084,
e-mail: nir@spbguvm.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5582-5155**

Maria S. Golodyaeva, PhD in Veterinary Science, associate professor, the Department of Animal Internal Medicine, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Chernigovskaya St., 5, Saint Petersburg, Russian Federation, 196084, e-mail: nir@spbguvm.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4059-526X**

✉ **Vladimir S. Ponamarev,** PhD in Veterinary Science, associate professor, the Department of Pharmacology and Toxicology, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Chernigovskaya St., 5, Saint Petersburg, Russian Federation, 196084, e-mail: nir@spbguvm.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6852-3110,** e-mail: psevdopyos@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.53–65
УДК 631.862:504.7

(cc) BY

Технологии обращения с навозом и пометом, направленные на снижение эмиссии парниковых газов (обзор)

© 2026. С. А. Масловский[1]✉, И. Г. Голубев[1], К. Ю. Цыганкова[2]
[1]*ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», р. п. Правдинский, Московская обл., Российская Федерация,*
[2]*ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация*

Одной из экологических проблем, связанных с накоплением навоза и помета, является эмиссия парниковых газов. В процессе хранения, а также обработки навоза и помета происходят выбросы трех основных парниковых газов – углекислого газа (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O). Помимо этого, также присутствуют выбросы аммиака (NH_3), который не является парниковым газом, но относится к 4-му классу опасных химических веществ. Снижение величины их выбросов является важным условием повышения экологичности отрасли животноводства. Цель обзора – на основе экспертного анализа источников научно-технической информации выделить технологические приемы, направленные на снижение эмиссии парниковых газов и аммиака. Отмечено, что на этапе хранения навоза эффективно применение укрытия поверхности навозохранилища, разделение навоза на твердую и жидкую фракции с их последующей раздельной обработкой, подкисление жидкой фракции, использование очистных сооружений для адсорбции аммиака. Анализируя технологии переработки навоза установлено, что наиболее доступной является его компостирование с влагопоглощающим углеродосодержащим материалом. С целью снижения эмиссии парниковых газов и аммиака целесообразно применение технологий активного (ускоренного) компостирования, осуществляемого в биоферментаторах различной конструкции. Наиболее эффективными с экологической точки зрения следует признать такие технологии переработки, как анаэробное сбраживание и получение биоугля, которые осуществляются в аппаратах закрытого типа. Косвенное влияние биоугля на эмиссию парниковых газов проявляется в снижении выбросов закиси азота из почвы при внесении его в качестве агромелиоранта или использования в качестве добавки при компостировании. Применение описанных технологий в интенсивном животноводстве будет способствовать исполнению требований Парижского соглашения и соответствующих законодательных актов Российской Федерации о сокращении выбросов парниковых газов.

Ключевые слова: *побочные продукты животноводства, хранение, обработка, углекислый газ, метан, закись азота, аммиак*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (№ 082-00238-25-01 от 24 июня 2025 г.).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Масловский С. А., Голубев И. Г., Цыганкова К. Ю. Технологии обращения с навозом и пометом, направленные на снижение эмиссии парниковых газов (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):53–65. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.53-65

Поступила: 29.04.2025 Принята к публикации: 20.01.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Manure and litter handling technologies aimed at reducing greenhouse gas emissions (review)

© 2026. Sergey A. Maslovsky[1]✉, Ivan G. Golubev[1], Kseniya Yu. Tsygankova[2]
[1]*Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex, Pravdinsky settlement, Moscow region, Russian Federation,*
[2]*Russian State Agrarian University – Moskow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation*

One of the environmental problems associated with the accumulation of manure and litter is the emission of greenhouse gases. During the storage and processing of manure and litter, emissions of three main greenhouse gases occur – carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4) and nitrous oxide (N_2O). In addition, there are also emissions of ammonia (NH_3), which is not a greenhouse gas, but belongs to the 4th class of hazardous chemicals. Reducing the amount of their emissions is an important condition for increasing the environmental friendliness of the livestock industry. The aim of the review was to identify technological methods aimed at reducing greenhouse gas and ammonia emissions on the basis of the expert analysis

of scientific and technical information sources. It has been noted that at the stage of manure storage it is effective to cover the surface of the manure storage, to separate the manure into solid and liquid fractions with their subsequent separate processing, to acidify the liquid fraction using treatment facilities for the adsorption of ammonia. When analyzing the manure processing technologies, it has been established that the most accessible is its composting with a moisture-absorbing carbon-containing material. In order to reduce the emission of greenhouse gases and ammonia, it is advisable to use active (accelerated) composting technologies carried out in biofermenters of various designs. The most effective from an environmental point of view there should be recognized such processing technologies as anaerobic fermentation and biochar production, which are carried out in closed-type devices. The indirect effect of biochar on greenhouse gas emissions is manifested in a decrease in nitrous oxide emissions from the soil when it is added as an agro-ameliorant and used as an additive in composting. The application of the described technologies in intensive livestock farming will contribute to the fulfillment of the requirements of the Paris Agreement and the relevant legislative acts of the Russian Federation.

Keywords: *animal by-products, storage, processing, carbon dioxide, methane, nitrous oxide, ammonia*

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 Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex (No. 082-00238-25-01 dated June 25, 2025).

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: Maslovsky S. A., Golubev I. G., Tsygankova K. Yu. Manure and litter handling technologies aimed at reducing greenhouse gas emissions (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):53–65. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.20265.27.1.53-65

Received: 29.04.2025 Accepted for publication: 20.01.2026 Published online: 27.02.2026

Аграрный сектор экономики является одним из наиболее отходоемких. Производство основного сельскохозяйственного продукта связано с образованием большого количества отходов, выход которого иногда составляет 15–30 % массы исходного сырья[1]. Наибольшая часть отходов, образующихся в агропромышленном производстве, приходится на отрасль животноводства – 56 %, на долю птицеводства – 3,7 % [1]. По данным Национальной мясной ассоциации [2], в Российской Федерации в хозяйствах всех категорий за год образуется около 300 млн т навоза и помета, в т. ч. примерно 180 млн т в сельхозорганизациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах, из них 24 млн т – на свиноводческих предприятиях и 18 млн т – на птицеводческих. Степень их утилизации крайне низка и не превышает 45 % [3].

Накопление непереработанных навоза и помета, которые в соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО) отнесены к III-IV классам опасности[2], представляет собой серьёзную экологическую проблему. Она заключается в непродуктивном использовании сельскохозяйственных земель, занятых под их хранение (по данным А. Г. Шестакова и др. [4], они занимают более 2 млн га), высоком риске контаминации почвы, грунтовых и поверхностных вод патогенными, условно-патогенными микроорганизмами, яйцами гельминтов, солями тяжелых металлов, нитратным, аммиачным, амидным азотом, фосфатами, высокой эмиссии парниковых газов (углекислого газа, метана, закиси азота), а также неприятного запаха. Ежегодный эколого-экономический ущерб, связанный с негативным влиянием накопления отходов животноводства, оценивается более чем в 150 млрд руб. [5].

Проблема эмиссии парниковых газов и снижения их количества известна еще с 90-х годов XX века. В 2019 г. Российской Федерацией было подписано Парижское соглашение, направленное на ограничение роста средней температуры окружающей среды ниже 2 °С. Во исполнение этого соглашения был подписан Указ Президента Российской Федерации «О сокращении выбросов парниковых газов»[3], согласно которому «необходимо обеспечить к 2030 г. сокращение выбросов парниковых газов до 70 % к уровню 1990 г.». Правительством РФ была разработана и принята стратегия развития Российской Федерации до 2050 года, направленная на минимизацию выбросов парниковых газов от разных секторов, в том числе от сектора «Сельское хозяйство»[4].

[1]Голубев И. Г., Шванская И. А., Коноваленко Л. Ю., Лопатников М. В. Рециклинг отходов в АПК: справочник. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 296 с.

[2]Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (ред. от 20.12.2024) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов». [Электронный ресурс]. URL: https://rpn.gov.ru/fkko/ (дата обращения: 15.04.2025 г).

[3]Указ Президента Российской Федерации от 4 ноября 2020 г. № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов». [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document (дата обращения: 02.03.2025).

[4]Распоряжение Правительство РФ «О Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» от 29 октября 2021 года № 3052-р. [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document (дата обращения: 02.04.2025).

По данным, представленным Е. В. Шаниной и др. [6], выбросы парниковых газов, связанные с сельскохозяйственным производством, составляют 18,4% от общего объема мировых выбросов. На систему сбора и хранения навоза приходится 12,28 % от общей эмиссии парниковых газов, образующихся на предприятиях АПК, – т. е. на нее приходится третье место после возделывания почвы и внутренней ферментации с.-х. животных.

Цель обзора – на основе экспертного анализа источников научно-технической информации, преимущественно за последние 25 лет, выделить технологические приемы, направленные на снижение эмиссии парниковых газов и аммиака.

Материал и методы. Отбор и систематический обзор источников научно-технической информации (научной литературы, законодательных актов, патентов и др.) по заданной теме был выполнен в научных электронных библиотеках и поисковых системах eLIBRARY.RU, Web of Science, Scopus и Google Scholar по ключевым словам: навоз, помет, хранение, обработка, переработка, экология, эмиссия, парниковые газы. При анализе источников научно-технической информации на начальном этапе проводился просмотр только заголовков и аннотаций, в дальнейшем – анализ полных текстов отобранных статей. В результате поиска окончательно отобрано 43 отечественных и иностранных источника, преимущественно последних лет, которые были включены в список использованной литературы.

Основная часть. *Навоз и помет – источник эмиссии парниковых газов.* Как отмечалось во вводной части, одним из факторов негативного влияния накопления навоза и помета является выделение ими парниковых газов. П. И. Гридневым и др. [7] отмечено, что при подготовке навоза к использованию в окружающую среду происходит выброс трех парниковых газов: углекислого газа (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O), а также аммиака, который не является парниковым газом, но относится к 4-му классу отравляющих веществ.

По оценке этих авторов, величина выброса углекислого газа от сельскохозяйственного производства незначительна и не превышает 4 %. Кроме того, вклад данного газа в потенциал глобального потепления незначителен – в 23 раза меньше по сравнению с метаном и в 296 раз меньше – с закисью азота, поэтому его влиянием на климат при оценке сельскохозяйственных технологий пренебрегают.

Величина выброса парниковых газов зависит от вида животного, рациона кормления, способов их содержания и технологий утилизации навоза [8].

Интенсивность выбросов закиси азота возрастает при наличии достаточного кислорода для нитрификации. В жидком навозе преобладают бескислородные условия, затрудняющие как нитрификацию, так и денитрификацию, поэтому образование закиси в нем практически не происходит. Эмиссия закиси азота может происходить только в случае образования естественного плавающего слоя с повышенным содержанием органических веществ и аэробной активностью. Покрытие хранилищ жидкого навоза полиэтиленовой пленкой не влияет на интенсивность выбросов закиси азота. Наибольшая эмиссия N_2O отмечается при содержании животных на глубокой подстилке, особенно при ее рыхлении.

Интенсивность выбросов метана, наоборот, усиливается в анаэробных условиях и зависит от температуры и химического состава исходного навоза. При хранении твердого навоза, по сравнению с жидким, интенсивность его выбросов снижается.

Выбросы аммиака в значительной степени зависят от содержания аммонийного азота в общем азоте и способа хранения [9]. Эмиссия аммиака приводит к непродуктивным потерям азота и снижению удобрительной ценности навоза. Потери аммиака зависят от продолжительности, интенсивности воздухообмена и размера поверхности теплообмена.

Данные по влиянию способов хранения навоза, полученного от коров и свиней, на выбросы газов представлены в таблице 1.

Эмиссия парниковых газов в животноводческих помещениях зависит от санитарного состояния. И. Н. Казаровец и др. [10] отмечали, что регулярная очистка навозоприемных каналов и регулярный вывоз навоза способствуют снижению выбросов метана и закиси азота на 55 и 41 % соответственно.

С целью снижения эмиссии газов при хранении навоза предлагаются различные технические решения. Так, М. Гуарино и др. (M. Guarino et al.) [11] при хранении навоза, полученного от свиней и КРС, рекомендуют покрытие, в состав которого входят растительное масло (смесь рапсового и соевого), керамзит, измельченные стебли кукурузы,

пшеничная солома и древесная стружка. Применение такого покрытия снижало выбросы аммиака и интенсивность запаха, но не оказывало существенного влияния на его выбросы. А. С. Вандерзааг и др. (A. C. Vanderzaag et al.) [12] с целью снижения выброса аммиака рекомендуют покрытия на основе природных (натуральная корка, солома, торф, легкий керамзит), синтетических (геотекстиль, пластик, резина) или композитных материалов, М. Хеллстедт и др. [13] – использование плавающего пористого пластикового покрытия, разработанного и производимого фирмой NMC Cellfoam (Финляндия).

Таблица 1 – **Влияние способов хранения навоза молочных коров и свиней на эмиссию газов N_2O, CH_4 и NH_3, кг/место в год [7] /**
Table 1 – **The influence of storage methods of dairy cow and pig manure on the emission of N_2O, CH_4 and NH_3 gases, kg/place per year [7]**

Способ хранения / Method of storing	*Эмиссия закиси азота / Nitrous oxide emission,*		*Эмиссия аммиака / Ammonia emission*		*Эмиссия метана / Methane emission*		*Суммарный экв. CO_2 / Total CO_2 equiv.*
	N_2O	*CO_2 equiv.*	*NH_3*	*CO_2 equiv.*	*CH_4*	*CO_2 equiv.*	
Молочные коровы / Dairy cows							
Бесподстилочный навоз / Litterless manure							
Открытые хранилища* / Open storages*	0,0	0,0	32,6	336,1	43,4	911,5	1248
Хранилища с пленочным покрытием / Film-lined storage facilities	0,0	0,0	22,2	228,5	43,4	911,5	1140
Подпольное хранение / Underground storage	0,4	135,3	24,0	246,8	43,4	911,5	1294
Подстилочный навоз / Litter manure							
Хранение в буртах / Storage in piles	1,1	338,2	31,0	318,8	5,1	107,2	764
Глубокая подстилка / Deep litter	2,2	676,4	31,3	322,1	43,4	911,5	1910
Откорм свиней / Fattening pigs							
Бесподстилочный навоз / Litterless manure							
Открытые хранилища* / Open storages*	0,0	0,0	4,6	47,3	6,0	126,1	173
Хранилища с пленочным покрытием / Film-lined storage facilities	0,0	0,0	3,6	36,9	6,0	126,1	163
Подпольное хранение / Underground storage	0,0	12,5	4,2	43,2	6,0	126,1	182
Подстилочный навоз / Litter manure							
Хранение в буртах / Storage in piles	0,1	31,2	5,6	58,2	0,7	14,8	104
Глубокая подстилка / Deep litter	0,2	62,4	5,7	58,6	6,0	126,1	247

* – Без образования естественного плавающего слоя / * – Without formation of a natural floating layer

Многие авторы рекомендуют комплексные решения, предусматривающие разделение навоза на фракции, его подкисление и использование очистных сооружений для адсорбции аммиака. Эти положения были освещены в работах В. И. Базыкина [14], Ю. Н. Терентьева и др. [15], Н. В. Сырчиной и др. [16], Л. В. Пилип и др. [17]. Отмечено, что хранение твердого навоза позволяет снизить выбросы метана на 25–30 % и закиси азота – на 15–20 % [18].

Эмиссия парниковых газов при аэробном компостировании и анаэробном сбраживании навоза и помета. Компостирование – микробиологический способ переработки навоза с целью получения органического удобрения. Это процесс экзотермического окисления, в котором органический субстрат подвергается биодеградации смешанной популяцией микроорганизмов, включающей бактерии археи и грибы [19]. В состав компостной смеси, помимо навоза или помета, входят солома,

опилки, древесная кора и другие высокоуглеродистые материалы, позволяющие обеспечить достаточную аэрацию компостируемой массы и оптимальное соотношение C:N (20–30:1).

В соответствии с Методическими рекомендациями по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета РД-АПК 1.10.15.02-17[5] выделяют пассивный (традиционный) и активный (ускоренный) способы компостирования, которые различаются своими режимами. Пассивное компостирование осуществляется в естественных условиях в буртах на прифермских и полевых площадках. Активное, или ускоренное, предусматривает управление процессами жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов с использованием специализированных установок – ферментаторов.

Компостирование является базовой технологией переработки побочных продуктов животноводства. К ее достоинствам относятся относительно низкие капитальные и эксплуатационные затраты, простота технологии, используемых технических средств и оборудования [20, 21].

Имеются данные о том, что при компостировании навоза на свинофермах выброс парниковых газов составлял 24 % по сравнению с традиционной технологией обращения с жидким навозом[6] [22], который увеличивается, если во время выдерживания проводят ворошение буртов. При этом происходит высвобождение газов, находящихся внутри компостируемой массы, что и увеличивает выбросы CO_2, N_2O, но данный прием способствует ускорению разложения компостируемого материала [23]. Этими же авторами отмечено снижение выбросов метана и закиси азота при введении в компостную смесь опилок или соломы, являющихся их естественными абсорбентами.

Исследования, проводившиеся в Китае на примере четырех видов сырья (свиной навоз, навоз КРС, овечий навоз, куриный помет), показали, что вне зависимости от типа сырья 90 % парниковых газов образуется на начальном (0–15 сут) и конечном (36–49 сут) периодах компостирования. В первые 35 суток компостирования преобладала эмиссия CO_2, на который в структуре газообразования приходилось 90 %, в поздний период компостирования преобладала эмиссия N_2O – 40–75 %, доля CH_4 в этот период составляла менее 8 % [24, 25].

В основе технологий активного компостирования лежит метод биоферментации – аэробной ферментации посредством регулированной аэрации компостируемой смеси. Насыщение компостируемой массы кислородом из воздуха способствует активации биологического окисления органического вещества, температура в перерабатываемой массе повышается до 60 °С, что обеспечивает ее дезинфекцию и девитализацию. Данная технология предусматривает использование камерных и барабанных ферментеров [26, 27].

Для реализации технологии активного компостирования применяют биоферментаторы камерного или барабанного типов. Процессы компостирования в них схожи, основное отличие заключается в том, что в установках барабанного типа в процессе переработки осуществляется вращение корпуса биоферментатора, за счет чего обеспечивается стабильность процесса и равномерное созревание компоста.

Установка барабанного типа позволяет вести процесс биоферментации в двух технологических режимах процесса биоконверсии: циклическом и поточном. При циклическом режиме схема работы аналогична функционированию установки камерного типа: подготовка смеси, загрузка, процесс биоконверсии, полная отгрузка. При поточном режиме переработки производится частичная выгрузка готового продукта из установки с одновременной загрузкой новой партии перерабатываемого материала.

Р. А. Уваров [27], сопоставляя технологии компостирования в буртах и биоферментаторах, отмечал различия в уровнях эмиссии биогенных элементов. Так, при буртовом компостировании она составляет 20–27 % без аэрации и 16–22 % – с аэрацией, в установках камерного типа – 13–20 %, барабанного – 4–8 % от исходного содержания аммонийного азота.

[5]Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета РД-АПК 1.10.15.02-17. [Электронный ресурс]. URL: https://rpn.gov.ru/fkko/ (дата обращения: 15.04.2025).

[6]Компостирование как способ снижения выбросов парниковых газов при обращении с органическими отходами. [Электронный ресурс]. URL: https://compostpro.ru/tpost/e4s1mi9741-kompostirovanie-kak-sposob-snizheniya-vi (дата обращения: 16.04.2025).

Различия в величине эмиссий могут быть объяснены следующим:

- продолжительностью периодов переработки: при буртовом компостировании без аэрации – 2-3 мес.; с аэрацией – до 1,5 мес.; в биоферментаторах камерного типа – 7–9 сут; барабанного – 3-4 сут.

- при активном компостировании используется предварительно обезвоженная твердая фракция навоза, которая изначально характеризуется пониженным уровнем эмиссии парниковых газов;

- биоферментаторы обеспечивают определенный уровень изоляции компостируемой массы от окружающей среды.

Таким образом, технологии аэробного компостирования можно рассматривать как способ утилизации навоза, обеспечивающий в той или иной степени снижение уровня эмиссии парниковых газов, позволяющий получать ценное органическое удобрение, которое может использоваться внутри хозяйства или реализовываться как отдельный продукт.

Анаэробное сбраживание представляет собой один из возможных способов биоконверсии побочной продукции животноводства, в результате которой образуется два целевых продукта – биогаз (в основном метан и углекислый газ) и дигестат (сброженный органический остаток, используемый в качестве органического удобрения). С учетом применения сброженного навоза в качестве удобрения, данный способ переработки позволяет сократить выбросы парниковых газов более чем на 30 % по сравнению с традиционными системами переработки навоза [28, 29].

Поскольку технологический процесс анаэробного сбраживания навоза и помета в биогазовых установках не сопровождается непосредственным выбросом газов в атмосферу, можно говорить о косвенных выбросах на этапах сбора, а также хранения навоза и помета. Согласно расчетам Е. С. Клочковой и М. Д. Харламовой [30], применительно к птицефабрике «Синявинская», внедрение технологии анаэробного сбраживания способно сократить массу выбросов метана от уборки, хранения и утилизации на 72,6 %, закиси азота – на 40 %. Аналогичные результаты были получены при сравнении четырех технологий переработки помета бройлеров: длительное выдерживание; компостирование; анаэробное сбраживание на биогазовой установке; производство биоугля [31].

Также необходимо отметить, что биогаз при сжигании характеризуется меньшим выбросом парниковых газов по сравнению с другими видами углеводородного топлива.

Вид навоза, используемого в качестве сырья для анаэробного сбраживания, оказывает влияние на выход биогаза [32]. Так, для навоза КРС он составляет 0,250–0,340, свиного – 0,340–0,580, конского – 0,200–0,300, овечьего – 0,300–0,620 $м^3$ на 1 кг сухого вещества. Наибольшая концентрация метана наблюдается в свином (65–70 %) и овечьем (70 %) навозе.

Ю. В. Караевой и др. [33] с помощью модифицированной модели Гомпертца произведена оценка динамики образования биогаза при сбраживании четырех вариантов смесей, содержащих коровий навоз, растительные добавки и биоуголь. Установлено, что наибольший его выход обеспечивает добавление фитомассы амаранта и биоугля из лузги подсолнечника.

Технологии переработки навоза и компоста на биоуголь. Одним из перспективных направлений утилизации побочных продуктов животноводства является преобразование их органических веществ под действием нагрева в инертной атмосфере при отсутствии кислорода и температуре от 350 до 1000 °С. При этом образуются три фракции: неконденсируемая газообразная, включающая главным образом CO, CO_2, CH_4 и H_2; жидкая (бионефть или смесь тяжелых углеводородов); твердый остаток – биоуголь [34]. Все компоненты могут использоваться в качестве целевого продукта. Газообразную и жидкую фракции можно применять в качестве топлива, биоуголь – как адсорбент, катализатор, и как агромелиорант, обогащающий пахотный горизонт углеродом, связывающий питательные элементы, снижающий риск поступления в продукцию тяжелых металлов и способствующий повышению микробиологической активности [35, 36, 37].

Поскольку получение биоугля осуществляется в закрытых установках – пиролизных печах, непосредственный выброс парниковых газов при его производстве минимален. Однако значение данного способа переработки для снижения экологической нагрузки достаточно высоко и заключается в следующем:

- применение биоугля в качестве агромелиоранта способствует снижению эмиссии закиси азота из почвы, не оказывая существенного влияния на эмиссию углекислого газа [38, 39];

- добавление биоугля при компостировании навоза сокращает выбросы метана на 91 % и закиси азота – на 56-57 % [40];

- биоуголь может быть включен в состав кормовых рационов для сельскохозяйственных животных [41].

Следует также отметить, что биоуголь, в отличие от навоза и помета, имеет значительно меньший объем, его проще хранить и транспортировать. Для его внесения на поля можно использовать машины для внесения минеральных удобрений.

Показатели экономической эффективности производства биоугля из побочных продуктов животноводства в сравнении с гранулированными органическими и органоминеральными удобрениями, рассчитанные на основе данных[7] [42], приведены в таблице 2.

Таблица 2 – **Экономическая эффективность производства биоугля по сравнению с другими способами переработки навоза и помета /**
Table 2 – **Economic efficiency of biochar production compared to other methods of processing manure and litter**

Конечный продукт / The final product	*Себестоимость, тыс. руб/т / Production cost, thousand rubles/t*	*Отпускная цена, тыс. руб/т / Selling price, thousand rubles/t*	*Прибыль, тыс. руб/т / Profit, thousand rubles/t*	*Уровень рентабельности, % / Profitability level, %*
Биоуголь / Biochar	10–14*	40–80	26–70	185–700
Гранулированное органическое удобрение / Granular organic fertilizer	3-4	7–8	3–5	75–166
Гранулированное органоминеральное удобрение / Granulated organomineral fertilizer	8-9	15–30	9–22	100–275

***** – Без учета стоимости выработанного тепла / * – Excluding the cost of generated heat

Таким образом, производство биоугля позволяет обеспечить наиболее высокий уровень рентабельности, который может достигать до 700 %, что превышает соответствующий показатель производства гранулированных органических и органоминеральных удобрений и может рассматриваться как самостоятельное направление бизнеса при достаточной обеспеченности сырьевыми ресурсами.

По данным Е. Тюриной и др. [43], внесение биоугля способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур (капусты, картофеля) до 41,26 т/га на участках без дренажа и 49,91 т/га с дренажом против 27,0 т/га в контроле, на основании чего можно рекомендовать производство биоугля для использования его на внутрихозяйственные цели.

Заключение. На основании аналитического исследования источников научно-технической информации, касающихся вопросов эмиссии парниковых газов при хранении и различных способах переработки навоза и помета, можно сделать следующие выводы:

1. Навоз и птичий помет являются существенными источниками эмиссии парниковых газов и аммиака, что является одним из экологических рисков, связанных с их накоплением. С целью снижения эмиссии рекомендуется поддержание оптимального санитарно-гигиенического состояния в животноводческих помещениях, своевременная уборка навоза из навозоприемных каналов и его удаление за пределы помещения, использование материалов, формирующих защитный слой на поверхности навозохранилищ, подкисление жидкого навоза до pH 4,5–5,2, использование очистительных систем, предусматривающих абсорбцию газов, применение технологий хранения навоза с разделением на твердую и жидкую фракции.

2. Технологии аэробного и анаэробного компостирования следует рассматривать как способы переработки побочных продуктов животноводства, обеспечивающие существенное снижение выбросов парниковых газов и аммиака по сравнению с хранением необработанного навоза и получение высококачественного органического удобрения (компоста). Предпочтительнее использование активного (ускоренного) компостирования, поскольку его продолжительность значительно короче, чем традиционного. Процесс осуществляется

[7]Лелеков И. Древесный уголь, биоуголь, биочар: расставляем все точки над «био». [Электронный ресурс]. URL: https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5817&ysclid=mei4of709m992501255 (дата обращения: 19.08.2025).

в сооружениях, изолированных от окружающей среды (биоферментаторах), что позволяет получать компост высокого качества. Сокращению эмиссии газов способствует включение в состав компостируемой смеси биоугля.

3. Анаэробное сбраживание побочных продуктов животноводства с получением биогаза и производство биоугля являются технологиями, при которых контакт сырья с окружающей средой минимален. Они наиболее эффективно снижают выбросы в атмосферу парниковых газов и аммиака. Реализация данных технологий позволяет получать горючий газ, который может использоваться в качестве топлива, жидкое органическое удобрение (дигестат) и, собственно, биоуголь, рентабельность производства которого может достигать 700 %, что существенно превышает эффективность производства гранулированных органических и органоминеральных удобрений.

Список литературы

1. Федоренко В. Ф., Буклагин Д. С., Зозуля А. Н., Нагорнов С. А., Голубев И. Г., Коноваленко Л. Ю. Инновационные технологии производства биотоплива второго поколения. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2009. 68 с.

2. Синельников М. Побочные продукты – это не отходы. Животноводство России. 2023;(2):8–11. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=50232035 EDN: VKUEWA

3. Попов В. Д., Максимов Д. А., Брюханов А. Ю. Экологические проблемы сельскохозяйственного производства и их решение в Северо-Западном федеральном округе РФ. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013;(4):4–7. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=20171875 EDN: QZKYNL

4. Шестаков А. Г., Васильев Д. А., Терешкин А. С., Молофеева Н. И., Калдыркаев А. И. Компостирование органических отходов сельскохозяйственных животных: монография. Ульяновск: ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, 2018. 112 с.
Режим доступа: https://lib.ugsha.ru/bitstream/123456789/2669/1/99b43218abb0c969bae9ec01534faf81.pdf

5. Брюханов А. Ю. Обеспечение экологической безопасности животноводческих и птицеводческих предприятий (наилучшие доступные технологии). СПб.: ИАЭП, 2017. 293 с.

6. Шанина Ел. В., Шанина Ек. В. Выбросы парниковых газов от животноводства. Научно-практические аспекты развития АПК: мат-лы национальной научн. конф. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2023. С. 35–37. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=50353626 EDN: UNLQXJ

7. Гриднев П. И., Гриднева Т. Т. Эмиссия парниковых газов и аммиака из навоза в процессе уборки и подготовки его к использованию. Техника и технологии в животноводстве. 2017;(1):25–33.
DOI: https://doi.org/10.24411/2226-4302-2017-00037 EDN: YFOBMD

8. Гриднева Т. Т. Эмиссия вредных газов при производстве животноводческой продукции. Техника и технологии в животноводстве. 2012;(4):61–69.

9. Chadwick D. R., Sommer S. G., Thorman R. E., Fangueiro D. Cardenas L., Amon B., Misselbrook T. Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. Animal Feed Science and Technology. 2011;(166–167):514–531. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.036

10. Казаровец И. Н., Зыбайло Д. В. Выделение парниковых газов при хранении навоза. Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. научн. ст. Международ. научн.-практ. конф. Минск: БГАТУ, 2023. С. 410–413.

11. Guarino M., Claudio F., Brambilla M., Valli L., Navarotto P. Evaluation of simplified covering systems to reduce gaseous emissions from livestock manure storage. Transactions of the ASABE. 2006;49(3):737–747. DOI: https://doi.org/10.13031/2013.20481

12. Vanderzaag A. C., Gordon R., Glass V. M., Jamieson R. Floating Covers to Reduce Gas Emissions from Liquid Manure Storages: A Review. Applied Engineering in Agriculture. 2008;24(5):657–671.
DOI: https://doi.org/10.13031/2013.25273

13. Хеллстедт М., Сипила И. Влияние пористого плавающего пластикового покрытия для хранилищ жидкого навоза на снижение эмиссии аммиака и парниковых газов. Экология и сельскохозяйственная техника: сб. тр. СПб.: СЗНИИМЭСХ РАСХН, 2009. С. 101–107.

14. Базыкин В. И. Способы снижения выбросов климатически активных газов на свинофермах. АгроЭкоИнженерия. 2023;(4):113–129. DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-4117-113-129 EDN: KJQADE

15. Терентьев Ю. Н., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я., Пилип Л. В. Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий. Теоретическая и прикладная экология. 2019;(2):113–120. DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-2-113-120 EDN: BZVXWD

16. Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Влияние подкисления на эмиссию сероводорода в органических отходах свинокомплексов. Проблемы региональной экологии. 2021;(4):102–106.
DOI: https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-4-102-106 EDN: FFHLRY

17. Пилип Л. В., Козвонин В. А., Сырчина Н. В., Колеватых Е. П., Ашихмина Т. Я. Влияние подкисления навозных стоков на их микробиологические характеристики. Теоретическая и прикладная экология. 2020;(3):161–167. DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-161-167 EDN: YEQKIR

18. Савина А. И. Применение наилучших доступных технологий (НДТ) с целью уменьшения выбросов парниковых газов в животноводстве (на примере свинокомплекса "Кудряшовский"). Труды III Гранберговской конференции: сб. докл. Всеросс. конф. с международ. участием, посвящ. памяти акад. А. Г. Гранберга. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2023. С. 280–286.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54958629 EDN: ULXKZA

19. Ножевникова А. Н., Миронов В. В., Бочкова Е. А., Литти Ю. В., Русскова Ю. И. Состав микробного сообщества на разных стадиях компостирования, перспектива получения компоста из муниципальных органических отходов (обзор). Прикладная биохимия и микробиология. 2019;55(3):211–221.
DOI: https://doi.org/10.1134/S0555109919030103 EDN: ZADBWP

20. Суховский Д. А., Шкрабак Р. В. Обеспечение нормированных условий труда в животноводстве и птицеводстве при хранении, переработке и использовании вторичного сырья. Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики: мат-лы международ. научн.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, посвящ. 190-летию со дня рождения И. А. Стебута. СПб.: Санкт-Петербургский ГАУ, 2023. С. 183–187.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54170361&pff=1 EDN: CCRGSB

21. Котов Е. Г., Кокунова И. В., Ружьев В. А. Разработка классификации технических средств для производства органических компостов. Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК: сб. по мат-лам международ. научн.-практ. конф. молодых учёных. СПб-Пушкин: Санкт-Петербургский ГАУ, 2018. С. 179–182.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34914357 EDN: UOVJFE

22. Paul J., Wagner-Riddle C., Thomson A., Fleming R., MacAlpine M. Composting as a Strategy to Reduce Greenhouse Gas Emissions. Presented at: Climate Change 2 Canadian Technology Development Conference, October 3–5, 2001.

23. Sayara T, Sanches A. Gaseous Emissions from the Composting Process: Controlling Parameters and Strategies of Mitigation. Processes. 2021; 9(10):1844. DOI: https://doi.org/10.3390/pr9101844

24. Брюханов А. Ю., Шалавина Е. В., Вертянкина В. Ю., Романовская А. А., Васильев Э. В. Влияние технологий переработки навоза и помета на эмиссии парниковых газов. Инженерные технологии и системы. 2024;34(4):563–583. DOI: https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202404.563-583 EDN: FXVRMF

25. Li L., Liu Y., Kong Y., Zhang J., Shen Y., Li G., Wang G., Yuan J. Relating Bacterial Dynamics and Functions to Greenhouse Gas and Odor Emissions during Facultative Heap Composting of Four Kinds of Livestock Manure. Journal of Environmental Management. 2023;(345):118589.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118589

26. Уваров Р. А. Обзор технологий биоконверсии навоза КРС, наиболее адаптированных к условиям Северо-Запада России. Инновации в сельском хозяйстве. 2015;(2):273–276.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23794394 EDN: UASABZ

27. Уваров Р. А. Анализ технологий переработки твердого навоза и помета, адаптированных к условиям Северо-Западного федерального округа. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017;(93):133–146.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30782061 EDN: ZXPRYF

28. Петрунина И. В., Горбунова Н. А. Системные меры по снижению выбросов парниковых газов в животноводческих хозяйствах. Обзор. Пищевые системы. 2022;5(3):202–211.
DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211 EDN: ZIUPJC

29. Battini F., Agostini A., Boulamanti A. K., Giuntoli J., Amaducci S. Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: case study of a dairy farm in the Po Valley. Science of the Total Environment. 2014;481(1):196–208. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.038

30. Клочкова Е. С., Харламова М. Д. Сокращение выбросов парниковых газов в результате применения технологии анаэробного сбраживания органических отходов на примере птицефабрики в Ленинградской области. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2015;(3):96–104. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24307158 EDN: ULXTIX

31. Kreidenweis U., Breier J., Herrmann C., Libra J., Prochnow A. Greenhouse Gas Emissions from Broiler Manure Treatment Options Are Lowest in Well-Managed Biogas Production. Journal of Cleaner Production. 2021;280(2):124969. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124969

32. Голубев И. Г., Масловский С. А., Гольтяпин В. Я. Перспективы использования биогаза, полученного из навоза и помета в качестве топлива для дизелей сельскохозяйственной техники. Технико-технологическое обеспечение инноваций в агропромышленном комплексе: сб. ст. по мат-лам III Международ. научн.-практ. конф. молодых ученых. Мелитополь: Мелитопольский ГУ, 2025. С. 617–621.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80543577&pff=1 EDN: CDGXWT

33. Караева Ю. В., Олейникова Е. Е., Слобожанинова М. В. Оценка выхода биогаза при анаэробной конверсии растительного сырья. BIOAsia-Altai. 2024;4(1):435–438.
Режим доступа: https://journal.asu.ru/bioasia/article/view/16469

34. Орынбаев Н., Алдабергенов М. Новые методы переработки органических веществ для производства новой продукции из отходов. Izdenister natigeler. 2023;(3):152–162. DOI: https://doi.org/10.37884/3-2023/16

35. Масловский С. А., Голубев И. Г., Кузьмина Т. Н., Неменущая Л. А., Цыганкова К. Ю. Переработка побочной продукции животноводства на биоуголь. Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации (шифр – МКСТР): мат-лы XXIX международ. научн.-практ. конф. М.: АНО ДПО Центр развития образования и науки, 2024. С. 85–89.
Режим доступа: https://voenvestnik.ru/PDF/29МКСТР.pdf

36. Бабичев А. Н., Юркова Р. Е., Докучаева Л. М. Оценка возможности возделывания сельскохозяйственных культур при загрязнении почв тяжелыми металлами. Экология и водное хозяйство. 2022;4(4):12–26. DOI: https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-4-12-26 EDN: HEVMKI

37. Брындина Л. В., Свистова И. Д., Бакланова О. В. Восстановление микробиологической активности почв после гербицидного стресса. Лесотехнический журнал. 2022;12(2):43–55.
DOI: https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/4 EDN: GWPGIP

38. Бучкина Н. П., Балашов Е. В., Рижия Е. Я., Павлик С. В., Horak J., Igaz D. Влияние биоугля на свойства почв и эмиссию парниковых газов: мат-лы научной сессии по итогам 2013 года Агрофизического института, Санкт-Петербург, 20–21 марта 2014 года. СПб.: Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН, 2014. С. 165–170.

39. Мухина И. М., Рижая Е. Я. Применение биоугля для эффективного управления эмиссией парниковых газов из почв. Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего: мат-лы II Международ. научн. конф. СПб.: Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН, 2019. С. 655–661.

40. Castro-Herrera D., Prost K., Kim D.-G., Yimer F., Tadesse M., Gebrehiwot M., Brüggemann N. Biochar Addition Reduces Non-CO_2 Greenhouse Gas Emissions during Composting of Human Excreta and Cattle Manure. Journal of Environmental Quality. 2023;52(4):814–828. DOI: https://doi.org/10.1002/jeq2.20482

41. Romero C. M., Redman A.-A. P. H., Owens J., Terry S. A., Ribeiro G. O., Gorzelak M. A. et al. Effects of Feeding a Pine-Based Biochar to Beef Cattle on Subsequent Manure Nutrients, Organic Matter Composition and Greenhouse Gas Emissions. Science of the Total Environment. 2022;(812):152267.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152267

42. Гарзанов А. Л., Дорофеева О. А. Производство гранулированных органических и органоминеральных удобрений из помета и навоза – наилучшие доступные технологии их утилизации. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018;(95):227–235. DOI: https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10051 EDN: XRQYLB

43. Тюрина Е., Свиридов М., Нестерова О., Сакара Н. Бизнес-модель применения биоугля сельхозпредприятиями с учетом концепции LCA (Life Cycle Assessment) и углеродного следа. Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. 2023;104(4):106–120.
DOI: https://doi.org/10.24866/2311-2271/2022-4/106-120

References

1. Fedorenko V. F., Buklagin D. S., Zozulya A. N., Nagornov S. A., Golubev I. G., Konovalenko L. Yu. Innovative technologies for the production of second-generation biofuels. Moscow: *FGBNU «Rosinformagrotekh»*, 2009. 68 p.

2. Sinelnikov M. By-products are not waste. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2023;(2):8–11. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=50232035

3. Popov V. D., Maksimov D. A., Bryukhanov A. Yu. Environmental problems of agricultural production and their solution in the Northwestern Federal District of the Russian Federation. *Selskokhozyaystvennie mashini i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2013;(4):4–7. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=20171875

4. Shestakov A. G., Vasilev D. A., Tereshkin A. S., Molofeeva N. I., Kaldirkaev A. I. Composting of organic waste from farm animals: a monograph. Ulyanovsk: *FGBOU VO Ulyanovsky GAU*, 2018. 112 p.
URL: https://lib.ugsha.ru/bitstream/123456789/2669/1/99b43218abb0c969bae9ec01534faf81.pdf

5. Bryukhanov A. Yu. Ensuring environmental safety of livestock and poultry enterprises (the best available technologies). Saint-Petersburg: *IAEP*, 2017. 293 p.

6. Shanina El. V., Shanina Ek. V. Greenhouse gas emissions from animal husbandry. Scientific and practical aspects of agro-industrial complex development: Proceedings of the National Scientific Conference. Krasnoyarsk: *Krasnoyarsky GAU*, 2023. pp. 35–37. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=50353626

7. Gridnev P. I., Gridneva T. T. The greenhouse gases and ammonia emission at the manure cleaning and preparing it to use process. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* = Machinery and technologies in livestock. 2017;(1):25–33. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/2226-4302-2017-00037

8. Gridneva T. T. Emissiya vrednikh gazov pri proizvodstve zhivotnovodcheskoy produktsii. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* = Machinery and technologies in livestock. 2012;(4):61–69. (In Russ.).

9. Chadwick D. R., Sommer S. G., Thorman R. E., Fangueiro D. Cardenas L., Amon B., Misselbrook T. Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. Animal Feed Science and Technology. 2011;(166–167):514–531. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.036

10. Kazarovets I. N., Zibaylo D. V. Greenhouse gas emissions during manure storage. Technical support of innovative technologies in agriculture: collection of scientific articles of the International scientific and practical conference. Minsk: *BGATU*, 2023. pp. 410–413.

11. Guarino M., Claudio F., Brambilla M., Valli L., Navarotto P. Evaluation of simplified covering systems to reduce gaseous emissions from livestock manure storage. Transactions of the ASABE. 2006;49(3):737–747. DOI https://doi.org/10.13031/2013.20481

12. Vanderzaag A. C., Gordon R., Glass V. M., Jamieson R. Floating Covers to Reduce Gas Emissions from Liquid Manure Storages: A Review. Applied Engineering in Agriculture. 2008;24(5):657–671. DOI: https://doi.org/10.13031/2013.25273

13. Khellstedt M., Sipila I. The effect of a floating cellular plastic cover for slurry storage on the emission prevention of ammonia and greenhouse gases. Ecology and agricultural machinery: collection of articles. Saint-Petersburg: *SZNIIMESKH RASKHN*, 2009. pp. 101–107.

14. Bazikin V. I. Ways to reduce emissions of climate-active gases on pig farms. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2023;(4):113–129. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-4117-113-129

15. Terentev Yu. N., Sirchina N. V., Ashikhmina T. Ya., Pilip L. V. Reducing the emission of odorous substances in industrial pig breeding enterprises. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2019;(2):113–120. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-2-113-120

16. Sirchina N. V., Pilip L. V. The effect of acidification on the sulfide hydrogen emissions in the organic waste of pig farms. *Problemi regionalnoy ekologii* = Regional Environmental Issues. 2021;(4):102–106. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-4-102-106

17. Pilip L. V., Kozvonin V. A., Sirchina N. V., Kolevatikh E. P., Ashikhmina T. Ya. Effects of acidifying manure effluent on its microbiological characteristics. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2020;(3):161–167. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-161-167

18. Savina A. I. Application of the best available technologies (bat) in order to reduce greenhouse gas emissions in animal breeding (on the example of the kudryashovsky pig farm). Proceedings of the III Granberg Conference: collection of documents of the All-Russian Conference with international participation, dedicated to the memory of academician A. G. Granberg. Novosibirsk: *IEOPP SO RAN*, 2023. pp. 280–286. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54958629

19. Nozhevnikova A. N., Mironov V. V., Bochkova E. A., Litti Yu. V., Russkova Yu. I. Composition of a microbial community at different stages of composting and the prospects for compost production from municipal organic waste (review). *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2019;55(3):211–221. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.1134/S0555109919030103

20. Sukhovsky D. A., Shkrabak R. V. Ensuring standardized working conditions in animal husbandry and poultry farming during storage, processing and use of secondary raw materials. Priorities for the development of the agro-industrial complex in the context of digitalization and structural changes in the national economy: Proceedings of the international scientific and practical conference of the teaching staff, dedicated to the 190th anniversary of the birth of I. A. Stebut. Saint-Petersburg: *Sankt-Peterburgsky GAU*, 2023. pp. 183–187. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54170361&pff=1

21. Kotov E. G., Kokunova I. V., Ruzhev V. A. Development of a classification of technical means for the production of organic compost. The role of young scientists in solving urgent problems of the agro-industrial complex: collection on the Proceedings of the international scientific and practical conference of young scientists. Saint-Petersburg-Pushkin: *Sankt-Peterburgsky GAU*, 2018. pp. 179–182. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34914357

22. Paul J., Wagner-Riddle C., Thomson A., Fleming R., MacAlpine M. Composting as a Strategy to Reduce Greenhouse Gas Emissions. Presented at: Climate Change 2 Canadian Technology Development Conference, October 3–5, 2001.

23. Sayara T, Sanches A. Gaseous Emissions from the Composting Process: Controlling Parameters and Strategies of Mitigation. Processes. 2021; 9(10):1844. DOI: https://doi.org/10.3390/pr9101844

24. Bryukhanov A. Yu., Shalavina E. V., Vertyankina V. Yu., Romanovskaya A. A., Vasilev E. V. Effect of animal and poultry manure processing technologies on greenhouse gas emissions. *Inzhenernie tekhnologii i sistemi* = Engineering Technologies and Systems. 2024;34(4):563–583. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202404.563-583

25. Li L., Liu Y., Kong Y., Zhang J., Shen Y., Li G., Wang G., Yuan J. Relating Bacterial Dynamics and Functions to Greenhouse Gas and Odor Emissions during Facultative Heap Composting of Four Kinds of Livestock Manure. Journal of Environmental Management. 2023;(345):118589.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118589

26. Uvarov R. A. Survey of cattle manure bioconversion technologies most adapted to the conditions of North-West Russia. *Innovatsii v selskom khozyaystve*. 2015;(2):273–276. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23794394

27. Uvarov R. A. Survey of solid animal and poultry manure processing technologies adapted to the North-West federal district conditions. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2017;(93):133–146. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30782061

28. Petrunina I. V., Gorbunova N. A. Systemic measures on reduction of greenhouse gas emissions in animal husbandry enterprises. A review. *Pishchevie sistemi* = Food systems. 2022;5(3):202–211. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211

29. Battini F., Agostini A., Boulamanti A. K., Giuntoli J., Amaducci S. Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: case study of a dairy farm in the Po Valley. Science of the Total Environment. 2014;481(1):196–208. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.038

30. Klochkova E. S., Kharlamova M. D. Greenhouse gas emissions reduction due to anaerobic digestion technology implementation by the example of leningrad region poultry farm. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhbi narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatelnosti* = RUDN Journal of Ecology and Life Safety. 2015;(3):96–104. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24307158

31. Kreidenweis U., Breier J., Herrmann C., Libra J., Prochnow A. Greenhouse Gas Emissions from Broiler Manure Treatment Options Are Lowest in Well-Managed Biogas Production. Journal of Cleaner Production. 2021;280(2):124969. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124969

32. Golubev I. G., Maslovsky S. A., Goltyapin V. Ya. Prospects of using biogas obtained from manure and manure as fuel for diesel engines of agricultural machinery. Technical and technological support of innovations in the agro-industrial complex: collection of articles on the Proceedings of the III International scientific-practical conference of young scientists. Melitopol: *Melitopolsky GU*, 2025. pp. 617–621.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80543577&pff=1

33. Karaeva Yu. V., Oleynikova E. E., Slobozhaninova M. V. Assessment of biogas yield from anaerobic conversion of plant raw materials. BIOAsia-Altai. 2024;4(1):435–438. (In Russ.).
URL: https://journal.asu.ru/bioasia/article/view/16469

34. Orinbaev N., Aldabergenov M. New methods of processing organic substances to produce new products from the wastes. Izdenister natigeler. 2023;(3):152–162. (In Kazakhstan). DOI: https://doi.org/10.37884/3-2023/16

35. Maslovsky S. A., Golubev I. G., Kuzmina T. N., Nemenushchaya L. A., Tsigankova K. Yu. Processing of animal by-products into biochar. Current trends in the development of science and the global community in the era of digitalization (cipher – ICSTR): Proceedings of the XXIX International scientific and practical conference. Moscow: *ANO DPO Tsentr razvitiya obrazovaniya i nauki*, 2024. pp. 85–89.
URL: https://voenvestnik.ru/PDF/29MKCTP.pdf

36. Babichev A. N., Yurkova R. E., Dokuchaeva L. M. Capability assessment of crop growing on soils contaminated with heavy metals. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*. 2022;4(4):12–26. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-4-12-26

37. Brindina L. V., Svistova I. D., Baklanova O. V. Restoration of soil microbiological activity after herbicide stress. *Lesotekhnichesky zhurnal* = Forestry Engineering Journal. 2022;12(2):43–55. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/4

38. Buchkina N. P., Balashov E. V., Rizhiya E. Ya., Pavlik S. V., Horak J., Igaz D. The influence of biochar on soil properties and greenhouse gas emissions: Proceedings of the 2013 scientific session of the Agrophysical Institute, St. Petersburg, March 20-21, 2014. Saint-Petersburg: *Agrofizichesky nauchno-issledovatelsky institut RASKHN*, 2014. pp. 165–170.

39. Mukhina I. M., Rizhaya E. Ya. The use of biochar to effectively control soil greenhouse gas emissions. Trends in the development of agrophysics: from current problems of agriculture and crop production to technologies of the future: Proceedings of the II International scientific conference. Saint-Petersburg: *Agrofizichesky nauchno-issledovatelsky institut RASKHN*, 2019. pp. 655–661.

40. Castro-Herrera D., Prost K., Kim D.-G., Yimer F., Tadesse M., Gebrehiwot M., Brüggemann N. Biochar Addition Reduces Non-CO_2 Greenhouse Gas Emissions during Composting of Human Excreta and Cattle Manure. Journal of Environmental Quality. 2023;52(4):814–828. DOI: https://doi.org/10.1002/jeq2.20482

41. Romero C. M., Redman A.-A. P. H., Owens J., Terry S. A., Ribeiro G. O., Gorzelak M. A. et al. Effects of Feeding a Pine-Based Biochar to Beef Cattle on Subsequent Manure Nutrients, Organic Matter Composition and Greenhouse Gas Emissions. Science of the Total Environment. 2022;(812):152267.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152267

42. Garzanov A. L., Dorofeeva O. A. Production of granulated organic and organo-mineral fertilisers from animal and poultry manure as best available techniques of their disposal. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018;(95):227–235. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10051

43. Tyurina E., Sviridov M., Nesterova O., Sakara N. Business model of biochar application by agricultural producers: Life Cycle Assessment (LCA) and carbon footprint. *Izvestiya Dalnevostochnogo federalnogo universiteta. Ekonomika i upravlenie* = The bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management. 2023;104(4):106–120. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24866/2311-2271/2022-4/106-120

Сведения об авторах

✉ **Масловский Сергей Александрович**, кандидат с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», д. 60, ул. Лесная, р. п. Правдинский, г. о. Пушкинский, Московская обл., Российская Федерация, 141261,
e-mail: fgnu@rosinformagrotech.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9183-6564**,
e-mail: Smaslowskij@rambler.ru

Голубев Иван Григорьевич, доктор тех. наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», д. 60, ул. Лесная, р.п. Правдинский, г. о. Пушкинский, Московская обл., Российская Федерация, 141261, e-mail: fgnu@rosinformagrotech.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3754-0380

Цыганкова Ксения Юрьевна, студент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», д. 49, ул. Тимирязевская, г. Москва, Российская Федерация, 127434,
e-mail: nfo@rgau-msha.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0000-6878-900X**

Information about the authors

✉ **Sergey A. Maslovsky,** PhD in Agricultural Science, Associate Professor, Leading Researcher, Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex, 60 Lesnaya Street, Pravdinsky district, Pushkinsky Urban district, Moscow Region, Russian Federation, 141261, e-mail: fgnu@rosinformagrotech.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9183-6564**,
e-mail: Smaslowskij@rambler.ru

Ivan G. Golubev, DSc in Engineering, Professor, Chief Researcher, Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex, 60 Lesnaya Street, Pravdinsky district, Pushkinsky Urban district, Moscow Region, Russian Federation, 141261,
e-mail: fgnu@rosinformagrotech.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3754-0380**

Kseniya Yu. Tsygankova, Student, Russian State Agrarian University – Moskow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, 49, Timiryazevskaya Street, Moscow, Russian Federation, 127434,
e-mail: nfo@rgau-msha.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0000-6878-900X**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.66–75
УДК 633.853.494

(cc) BY

Изменчивость хозяйственно ценных признаков сорта яровой сурепицы ‘Липчанка’ в условиях Северо-Запада России

© 2026. И. В. Варганова[1]✉, В. И. Горшков[2], Н. В. Лебедева[1], А. Г. Дубовская[1]
[1]*ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский научно-исследовательский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,*
[2]*Липецкий научно-исследовательский институт рапса – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», г. Липецк, Российская Федерация*

Сурепица (Brassica rapa* L. subsp. *oleifera* (DC.) Metzg.) – важная масличная культура в зоне умеренного климата. В работе приводятся результаты многолетнего исследования (2019–2024 гг.) вариативности морфобиологических и хозяйственных характеристик сорта яровой сурепицы ‘Липчанка’ селекции Липецкого НИИ рапса в условиях Санкт-Петербурга (Северо-Западный регион России). В наибольшей степени (CV = 128 %) от условий вегетации зависели продолжительность вегетационного периода (67–97 суток), урожайность семян (60–96 г/м²) и высота растения (77,2–109,6 см). Низкой вариабельностью по годам исследований (CV менее 10 %) характеризовались продолжительность периода «всходы – цветение» (30–36 суток), продуктивность растения (1,2–3,3 г), количество ветвей первого порядка (4,0–7,3 шт.), среднее количество семян в стручке (14,8–22,4 шт.), масса 1000 семян (2,8–3,1 г). Наиболее высокую генетическую устойчивость сорт проявил по признаку «масса 1000 семян». Сорт ‘Липчанка’ является сортом-стандартом при изучении и сравнительной оценке новых сортов яровой сурепицы, поступающих в коллекцию Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР). Гербарий сорта ‘Липчанка’, назначенный номенклатурным стандартом, зарегистрирован в базе данных «Гербарий ВИР» и передан на хранение в Национальный центр генетических ресурсов растений.

Ключевые слова: *Brassica rapa* L., *культурные растения, отечественная селекция, корреляции, типовой гербарий*

Благодарности: подготовка и создание гербария номенклатурного стандарта была выполнена в рамках реализации Программы развития Национального центра генетических ресурсов растений по соглашению с Минобрнауки России от 26 февраля 2025 года № 075-02-2025-1584.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Варганова И. В., Горшков В. И., Лебедева Н. В., Дубовская А. Г. Изменчивость хозяйственно ценных признаков сорта яровой сурепицы ‘Липчанка’ в условиях Северо-Запада России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):66–75. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.66-75

Поступила: 05.06.2025 Принята к публикации: 27.01.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Variability of agronomic traits of the ‘Lipchanka’ spring turnip rape cultivar in the conditions of the North-West of Russia

© 2026. Irina V. Varganova[1]✉, Vladimir I. Gorshkov[2], Natalia V. Lebedeva[1], Alexandra G. Dubovskaya[1]
[1]*Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Saint-Petersburg, Russian Federation,*
[2]*Lipetsk Rapeseed Research Institute – branch of the V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Lipetsk, Russian Federation*

Turnip rape (Brassica rapa* L. subsp. *oleifera* (DC.) Metzg.) is an important oilseed crop in the temperate climate zone. The article provides the results of a long-term study (2019–2024) on the variability of morpho-biological and agronomic traits of the ‘Lipchanka’ spring turnip rape cultivar bred by the Lipetsk Research Institute of Rapeseed, under the conditions of Saint Petersburg (North-Western region of Russia). The duration of the vegetative period (67–97 days), seed yield (60–96 g/m²), and plant height (77.2–109.6 cm) mostly depended on the growing conditions (CV = 128 %). Low interannual variability (CV < 10 %) was observed for the «seedlings–flowering» period (30–36 days), productivity of one plant (1.2–3.3 g), number of the first-order branches (4.0–7.3 pcs.), average number of seeds per pod (14.8–22.4 pcs.), and weight of 1000 seeds (2.8–3.1 g). The highest genetic stability of the cultivar was recorded for the «weight of 1000 seeds» trait. The ‘Lipchanka’

cultivar is used as a standard cultivar in the study and comparative evaluation of new spring turnip rape cultivars introduced into the collection of the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR). The herbarium specimen of the 'Lipchanka' cultivar designated as the nomenclatural standard is registered in the VIR Herbarium database and has been transferred for storage to the National Center for Plant Genetic Resources.

Keywords: *Brassica rapa* L., *cultivated plants, domestic breeding, correlations, typus herbarium*

Acknowledgements: the process of preparing and creating the nomenclatural standard herbarium was carried out within the Development Program of the National Centre for Plant Genetic Resources under the agreement with the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation from 26.02.2025 No. 075-02-2025-1548.

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

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

For citation: Varganova I. V., Gorshkov V. I., Lebedeva N. V., Dubovskaya A. G. Variability of agronomic traits of the 'Lipchanka' spring turnip rape cultivar in the conditions of the North-West of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):66–75. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.66-75

Received: 05.06.2025 Accepted for publication: 27.01.2026 Published online: 27.02.2026

Сурепица, или капуста полевая (*Brassica rapa* L. subsp. *oleifera* (DC.) Metzg.), принадлежит к роду *Brassica* L. семейства Brassicaceae Burnett. Является однолетним травянистым растением, представлено как озимыми, так и яровыми формами, включающими несколько хозяйственно значимых разновидностей: корнеплодную (репа), листовую (используется розетка листьев) и масличную. Разнообразие морфологических форм и направлений применения данной культуры обусловливает существование множества таксономических подходов и ботанических синонимов: *Brassica campestris* (L.) ssp. *oleifera* DC, *B. campestris* ssp. *oleifera* Metzg., *B. rapa* ssp. *oleifera* Hanelt in Schultze-Motel, *B. rapa* L. var. *silvestris* (Lam.) Briggs. Сурепица является диплоидным видом с числом хромосом 2n = 20 (геном AA) и входит в число элементарных видов «капустного треугольника» [1]. Геном сурепицы в комбинации с геномом капусты огородной (*B. oleracea* L., геном CC, 2n = 18) образует аллополиплоидный геном рапса (*B. napus* L., AACC), а при участии генома черной горчицы (*B. nigra* Koch., BB) – геном сарептской горчицы (*B. juncea* Czern., AABB). Такая геномная совместимость и высокая кросс-способность с широким спектром инбредных линий делает представителей рода *Brassica* стратегически важными объектами в глобальных коллекциях генетических ресурсов [2]. Сурепица представляет особый интерес для селекционной программы по рапсу как источник генов засухо-, холодостойкости и скороспелости [3, 4]. Анализ поступления в коллекцию ВИР образцов сурепицы по их географическому происхождению позволяет сделать вывод о том, что сурепица широко используется в странах северной Европы – Швеции, Финляндии; её выращивают в Канаде и Австралии, это традиционная культура в Китае и Индии, горных районах Пакистана и Непала, известна на Украине, в Эстонии и России[1].

Для сурепицы характерен естественный полиморфизм по окраске семенной оболочки от черного до желтого, в отличие от рапса, у которого в норме черные семена и создание желтосемянных линий у масличных культур рода *Brassica* сопряжено, в том числе, с коррекцией жирнокислотного состава масла [5]. Семена желтой окраски по сравнению с черными имеют более тонкую оболочку, что проявляется увеличением доли масла и белка, а также снижением содержания клетчатки [6]. Истончение семенной оболочки приводит к уменьшению количества полифенола и лигнина в семени [7]. Масло современных сортов сурепицы, как и рапса, свободно от длинноцепочечных мононенасыщенных жирных кислот эйкозеновой (C20:1) и эруковой (C22:1), а в зеленой массе и семенной муке сведено к минимуму присутствие серосодержащих глюкозинолатов [8], поэтому сурепное масло, как и рапсовое, используется в пищевой промышленности [9]. В процессе отжима масел из семян сурепицы образуются побочные продукты с высоким уровнем протеина и наличием незаменимых аминокислот: жмых и экстракционные шроты, широко используемые в животноводстве в качестве кормовых добавок [10, 11].

Липецкий научно-исследовательский институт рапса – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» входит в число ведущих организаций, занимающихся селекцией масличных капустных культур в мире. К направлениям

[1]Культурная флора СССР. Ред. Е. В. Вульф. М.-Л.: Государственное издательство колхозной и совхозной литературы, 1941. Т. 7. Масличные. 496 с.

деятельности института относится селекция: ярового рапса, яровой и озимой сурепицы, горчицы белой и сарептской, редьки масличной [12].

Одним из наиболее востребованных в отечественной практике сортов яровой сурепицы является сорт ‘Липчанка’, выведенный в Липецком НИИ рапса. Сорт отличается широким адаптационным потенциалом и высокой хозяйственной ценностью. Для сорта характерны семена с жёлтой оболочкой, низким содержанием эруковой кислоты и глюкозинолатов, что соответствует современным требованиям к качеству масличного сырья. С 2004 по 2023 г. сорт включён в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации, став первым сортом сурепицы «000» типа, допущенным к возделыванию во всех 12 регионах[2]. В условиях Северного Зауралья ‘Липчанка’ обеспечивает выход масла с гектара до 500 кг [13]. Сорт поступил в коллекцию Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР) в 2008 г. и зарегистрирован в каталоге ВИР под номером к-392. ‘Липчанка’ служит сортом-стандартом при изучении и сравнительной оценке новых сортов яровой сурепицы, поступающих в коллекцию. На сопоставлении проявления признаков сорта ‘Липчанка’ с результатами описания и измерения других сортов строилась характеристика многих образцов коллекции сурепицы, поэтому важно контролировать, чтобы стандартный сорт не изменялся по своим качествам.

Существует необходимость подробного документирования отличительных сортовых признаков, поскольку в процессе длительного использования в различных агроклиматических условиях у сортов могут происходить изменения в характеристиках. Согласно положениям Международного кодекса номенклатуры культурных растений[3], помимо описания морфобиологических признаков для надежной идентификации каждого сорта создается типовой гербарий – номенклатурный стандарт, к которому прикрепляется название сорта или группы сортов. Обнародование гербария, назначенного номенклатурным стандартом, позволяет зафиксировать за этим гербарным образцом статус типового образца сорта. Создание и обнародование номенклатурных стандартов имеет большое значение для систематизации и охраны результатов селекционной деятельности, т. к. способствует каталогизации сортов отечественной селекции. Кроме того, номенклатурные стандарты служат доказательной базой при защите прав оригинатора, а также позволяют обеспечить воспроизводимость результатов при использовании сорта в агротехнологической и научной практике [14].

Цель работы – оценить вариабельность хозяйственно ценных и морфобиологических характеристик сорта яровой сурепицы ‘Липчанка’ в условиях северо-запада РФ, а также произвести обнародование гербария, назначенного номенклатурным стандартом этого сорта.

Научная новизна – впервые проведена комплексная оценка вариабельности хозяйственно ценных и морфобиологических признаков сорта яровой сурепицы (*Brassica campestris* L.) ‘Липчанка’ в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации. Впервые публикуется гербарный образец, закрепленный в качестве номенклатурного стандарта сорта ‘Липчанка’, что имеет значение для ботанической систематики.

Материал и методы. Сорт яровой сурепицы ‘Липчанка’ был выведен методом многократного индивидуально-семейного отбора из гибридной популяции, полученной от скрещивания шведских селекционных линий Sv. 155 × Sv. 153 фирмы Свалёф (Авторское свидетельство № 41056, Патент № 2654[4]). Ниже приводится описание морфобиологических и хозяйственно ценных признаков сорта яровой сурепицы ‘Липчанка’ по данным оригинатора. Средняя высота растений составляет 111 см. Растения характеризуются светло-зелёной окраской с наличием антоциановой на гипокотиле средней степени выраженности (рис. 1).

[2]Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. [Электронный ресурс].
URL: https://gossortrf.ru/publication/reestry.php (дата обращения 07.03.2025).

[3]Brickell C.D., Alexander C., Cubey J.J., David J.C., Hoffman M.H.A., Leslie A.C., Malécot V., Jin X. (eds.). International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Leuven: ISHS Secretariat, 2016. 210 p.
URL: https://www.ishs.org/app/uploads/2025/01/ScriptaHorticulturae_18.pdf

[4]Власова А. Н., Германенко Г. В., Горшков В. И., Жигулина В. И., Карпачев В. В., Карпачева В. Г., Манаенков С. И., Никоноренков В. А. Сурепица яровая Липчанка: Патент на селекционное достижение № 2654, Российская Федерация. Заявка № 9552937 с датой приоритета 13.01.2004. Зарегистрировано в государственном реестре охраняемых селекционных достижений 13.04.2005 г.



Рис. 1. **Проросток яровой сурепицы сорта ‘Липчанка’ /**
Fig. 1. **Sprout of the ‘Lipchanka’ spring turnip rape cultivar**

Опушение наблюдается на верхней стороне листьев, а восковой налёт выражен сильно на стебле и слабо – на листьях. Продолжительность вегетационного периода составляет 67–72 дня. Сорт проявляет устойчивость выше средней к полеганию и осыпанию семян на корню, а также устойчивость к фузариозу. В среднем масса 1000 семян равна 2,8 г. Окраска семян варьирует от жёлтой до коричневой с преобладанием жёлтого цвета. Урожайность семян достигает 1,87 т/га. Масличность семян в период конкурсных испытаний (2000–2003 гг.) составила 44,1–47,7 %, содержание белка 21,2–22,9 %. Масло характеризуется практически полным отсутствием эруковой кислоты, а содержание глюкозинолатов в шроте варьирует в пределах 1,39–1,84 % (32,5–43,1 мкмоль/г), что соответствует допустимым значениям для кормового использования.

Полевое изучение проводили с 2019 по 2024 г. согласно методике ВИР[5] на опытных полях (НПБ Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР) в условиях Санкт-Петербурга. Опытное поле расположено в пределах Нечерноземной полосы России на юго-востоке Санкт-Петербурга. Почвы дерново-подзолистые легкосуглинистые с содержанием гумуса 3–4 %, подвижных форм фосфора 65–70 мг/кг, калия 85–90 мг/кг (по методу Кирсанова). Реакция по всему почвенному профилю слабокислая ($pH_{сол}$ 5,5–6,0). Предшественник – картофель. Плотность посева – 30–35 растений на 1 м^2.

Климатические условия района исследований характеризуются переходом морского климата к слабоконтинентальному. Лето умеренно-теплое, влажное[6]. Сумма температур выше 10 °С колеблется в пределах 1600–2000 °С. Среднегодовое количество осадков составляет 500–600 мм рт. ст., из них 65–75 % приходится на теплое время года[7]. В отличие от среднемноголетних значений температуры и осадков, в 2019 г. был влажный август, в 2020 г. – жаркий июнь, в 2021 г. осадков в апреле не выпало (в предпосевной период), но избыточное количество осадков в мае, в 2022 г. были прохладными май и июнь, в 2023 г. – избыточно влажный июнь, в 2024 г. – жаркие июнь и июль.

Для морфобиологического описания сорта яровой сурепицы ‘Липчанка’ в условиях Северо-Западного региона в течение 6 лет проводили оценку следующих признаков: 1) продолжительность вегетационного периода (сутки) – от появления всходов до начала цветения, от всходов до полного созревания растений; 2) масса семян – урожайность (г/м^2) и продуктивность (г/растение); 3) морфология растений – полная высота растения от поверхности почвы до вершины, высота штамба (от поверхности почвы до первой нижней ветви) (см); количество ветвей первого порядка; общее количество стручков, сформированных на главной (центральной) кисти; средняя длина одного стручка вместе с носиком (мм); среднее число семян в одном стручке; масса 1000 семян (г).

[5]Методические указания по изучению мировой коллекции масличных культур. Вып. III. Арахис, кунжут, сафлор, рапс, сурепица, горчица белая, сарепская и черная, крамбе, индау, рыжик. Сост. В. С. Куделич (южные масличные), Р. Я. Кузнецова (масличные крестоцветные). Под ред. Г. Г. Давидяна. Л.: Всесоюзный НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова (ВИР), 1976. 22 с.
[6]Ленинград. Историко-географический атлас. Л., 1977. 120 с.
[7]Димо В. Н. Пригородные условия и особенности сельскохозяйственного использования территории. В кн.: Агрофизическая характеристика почв Нечерноземной зоны Европейской части СССР. М., 1976. 100 с.

С использованием программы Statistica 7.0 определили коэффициент вариации признаков, стандартное отклонение, стандартную ошибку среднего, коэффициент корреляции между признаками.

Растительный материал для гербария, назначенного номенклатурным стандартом, был выращен и собран в 2023 г. Сбор производили согласно методике[8]. Растения, используемые для одного гербарного образца, являются растениями, выращенными из одной навески семян. Гербарий оформляли в соответствии с рекомендациями Международного кодекса номенклатуры культурных растений (ICNCP)[9].

Результаты и их обсуждение. Анализ многолетних данных (2019–2024 гг.) позволил оценить устойчивость проявления морфобиологических и хозяйственно ценных признаков сорта яровой сурепицы ‘Липчанка’ в условиях Санкт-Петербурга (северо-запад России).

Продолжительность периода от всходов до цветения варьировала от 30 до 36 суток (в среднем 33,8 сут), что свидетельствует о стабильной продолжительности периода перехода к цветению (табл. 1). Период от всходов до созревания колебался в пределах от 67 до 97 суток (в среднем 84 сут). Признак характеризовался высокой вариабельностью, что указывает на его зависимость от погодных условий вегетационного сезона. Большая разница между максимальной и минимальной продолжительностью вегетационного периода, которая составила 30 суток, была обусловлена погодными условиями 2019 г. Из-за избыточного увлажнения в конце периода созревания началось повторное цветение с образованием стручков, поэтому сроки окончательного созревания и уборки были перенесены. Повторное цветение имело место также в 2020 и 2022 гг.

Таблица 1 – **Морфобиологические и хозяйственно ценные признаки яровой сурепицы сорта ‘Липчанка’ в условиях Санкт-Петербурга (в среднем за 2019–2024 гг.) /**
Table 1 – **Morphobiological and agronomic traits of the ‘Lipchanka’ spring turnip rape cultivar in the conditions of St. Petersburg (average for 2019–2024)**

Год / Year	*Всходы – цветение, сут / Seedlings – flowering, days*	*Всходы – созревание, сут / Seedlings – ripening, days*	*Урожайность, г/м² / Yield, g/m²*	*Продуктивность одного растения, г / Productivity of one plant, g;*	*Высота растения, см / Plant height, cm*	*Высота штамба (до первой ветви), см / Height to the first branch, cm*	*Кол-во ветвей первого порядка, шт. / Number of first-order branches, pcs.*	*Кол-во стручков на центральной кисти, шт. / Number of pods on the central brush, pcs.*	*Длина стручка вместе с носиком, мм / Pod length with beak, mm*	*Среднее кол-во семян в стручке, шт. / Average number of seeds per pod, pcs*	*Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g*
2019	34	97	96	3,2	90,8	6,9	5,7	17,6	59,5	18,8	2,9
2020	36	92	68	3,3	93,2	2,4	7,3	22,1	66,7	20,0	2,9
2021	36	75	76	2,0	77,2	2,4	5,8	23,0	56,2	22,4	2,7
2022	32	90	67	2,2	83,4	12,6	5,5	8,9	58,8	17,5	3,1
2023	35	67	60	1,2	109,6	13,2	5,8	15,4	55,2	14,8	3,0
2024	30	83	68	2,5	90,8	4,0	4,0	17,2	58,9	18,4	2,8
Mean	34	84	72	2,4	90,8	6,9	5,7	17,4	59,2	18,7	2,9
Min	30	67	60	1,2	77,2	2,4	4,0	8,9	55,2	14,8	2,7
Max	36	97	96	3,3	109,6	13,2	7,3	23,0	66,7	22,4	3,1
CV	5,8	128,0	159,2	0,6	119,8	24,2	1,1	25,9	16,3	6,4	0,02
StdDev	2,40	11,31	12,62	0,79	10,94	4,92	1,05	5,09	4,04	2,53	0,15
StError	0,98	4,62	5,15	0,32	4,47	2,01	0,43	2,08	1,65	1,03	0,06

Примечания: Mean – среднее значение, Min – минимальное значение, Max – максимальное значение, CV – коэффициент вариации, StdDev – стандартное отклонение, StError – стандартная ошибка среднего / Notes: Mean – average value, Min – minimum value, Max – maximum value, CV – coefficient of variation, StdDev – standard deviation, StError – standard error of the mean.

[8]Белозор Н. И. Гербаризация культурных растений: методические указания. Л.: Изд-во ВИР, 1989. 54 с.
[9]URL: https://ishs.org/app/uploads/2025/01/sh_18_Sample_chapters.pdf

Таблица 2 – **Корреляции между признаками яровой сурепицы 'Липчанка' при изучении в условиях Санкт-Петербурга (НПБ Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР), 2019–2024 гг. /**
Table 2 – **Correlations between the characteristics of the 'Lipchanka' spring turnip rape studied in the conditions of St. Petersburg (NPB Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR), 2019–2024**

Признак / Characteristic	*Всходы – цветение / Seedlings – flowering*	*Всходы – созревание / Seedlings – ripening*	*Урожайность / Yield*	*Продуктивность одного растения / Productivity of one plant*	*Высота растения / Plant height*	*Высота штамба (до первой ветви) / Height to the first branch*	*Кол-во ветвей первого порядка / Number of first-order branches*	*Кол-во стручков на центральной кисти / Number of pods on the central brush*	*Длина стручка вместе с носиком / Pod length with beak*	*Среднее кол-во семян в стручке / Average number of seeds per pod*	*Масса 1000 семян / Weight of 1000 seeds*
Всходы – цветение / Seedlings – flowering	1,0	-0,2	0,1	0,0	0,1	-0,2	0,8	0,6	0,1	0,3	-0,2
Всходы – созревание / Seedlings – ripening	-	1,0	0,6	0,9	-0,4	-0,2	0,2	-0,1	0,7	0,3	0,2
Урожайность / Yield	-	-	1,0	0,6	-0,4	-0,3	0,0	0,2	0,1	0,4	-0,3
Продуктивность одного растения / Productivity of one plant	-	-	-	1,0	-0,3	-0,6	0,3	0,3	0,8	0,5	-0,2
Высота растения / Plant height	-	-	-	-	1,0	0,5	0,1	-0,1	-0,1	-0,8	0,4
Высота штамба (до первой ветви) / Height to the first branch	-	-	-	-	-	1,0	-0,1	-0,9	-0,5	-0,9	0,8
Кол-во ветвей первого порядка / Number of first-order branches	-	-	-	-	-	-	1,0	0,4	0,6	0,2	0,1
Кол-во стручков на центральной кисти / Number of pods on the central brush	-	-	-	-	-	-	-	1,0	0,3	0,7	-0,8
Длина стручка вместе с носиком / Pod length with beak	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	0,3	0,1
Среднее кол-во семян в стручке / Average number of seeds per pod	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	-0,7
Масса 1000 семян / Weight of 1000 seeds	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0

За годы исследования урожайность сорта в среднем составила 72,4 г/м², но значения признака изменялись по годам. Продуктивность одного растения варьировала от 1,2 до 3,3 г (при среднем значении 2,4 г).

Сорт продемонстрировал изменчивость морфологических признаков в разные годы. Высота растений находилась в пределах от 77,2 до 109,6 см (в среднем 90,8 см), что является благоприятным показателем для механизированной уборки. Высота штамба варьировала от 2,4 до 13,2 см (6,9 см). Количество ветвей первого порядка колебалось от 4,0 до 7,3 шт. (в среднем 5,7 шт.), количество стручков на центральной кисти – от 8,9 до 23,0 шт. (17,4 шт.), длина стручка с носиком – от 55,2 до 66,7 мм (59,2 мм). Среднее количество семян в стручке составило 18,7 шт. при разбросе от 14,8 до 22,4 шт. Масса 1000 семян оставалась стабильной на протяжении всего периода исследований, варьируя от 2,7 до 3,1 г (в среднем 2,9 г), на 0,1 г превысив массу, заявленную оригинатором. Невысокое значение стандартного отклонения (0,15 г) и стандартной ошибки (0,06 г) подтверждают выравненность и генетическую устойчивость сорта по этому признаку к факторам внешней среды в условиях северо-запада РФ.

От метеоусловий года в наибольшей степени (CV = 120–159 %) зависели продолжительность вегетационного периода, урожайность семян и высота растения, в наименьшей – масса 1000 семян (CV = 0,02 %). Низкой вариабельностью по годам исследований (CV менее 10 %) характеризовались также продолжительность периода «всходы – цветение», продуктивность растения, количество ветвей первого порядка, среднее количество семян в стручке.

Анализ корреляций между признаками показал, что урожайность семян изменялась согласованно только с продуктивностью растения и продолжительностью вегетационного периода (табл. 2). Число ветвей первого порядка и число стручков на главной кисти имели положительную корреляцию с продолжительностью периода от всходов до цветения. Длина стручка тесно связана с продолжительностью периода от всходов до созревания, что подтверждается результатами других авторов [15].

Урожайность семян и продуктивность растения определялись условиями периода созревания. Продуктивность растения тем больше, чем ниже закладываются ветви, чем длиннее стручки, и чем больше в них семян, последнее согласуется с данными в опытах с рапсом [16]. Однако, когда на главной кисти меньше стручков, а в стручках меньше семян, то условия для вызревания семян (их крупности) оказывались более благоприятными (табл. 2).

В результате работы в качестве номенклатурного стандарта подготовлен гербарный образец яровой сурепицы сорта ‘Липчанка’.

Ниже приводится номенклатурная цитата и оцифрованные изображения гербарного образца. Одно растение смонтировано на трех гербарных листах (рис. 2.).

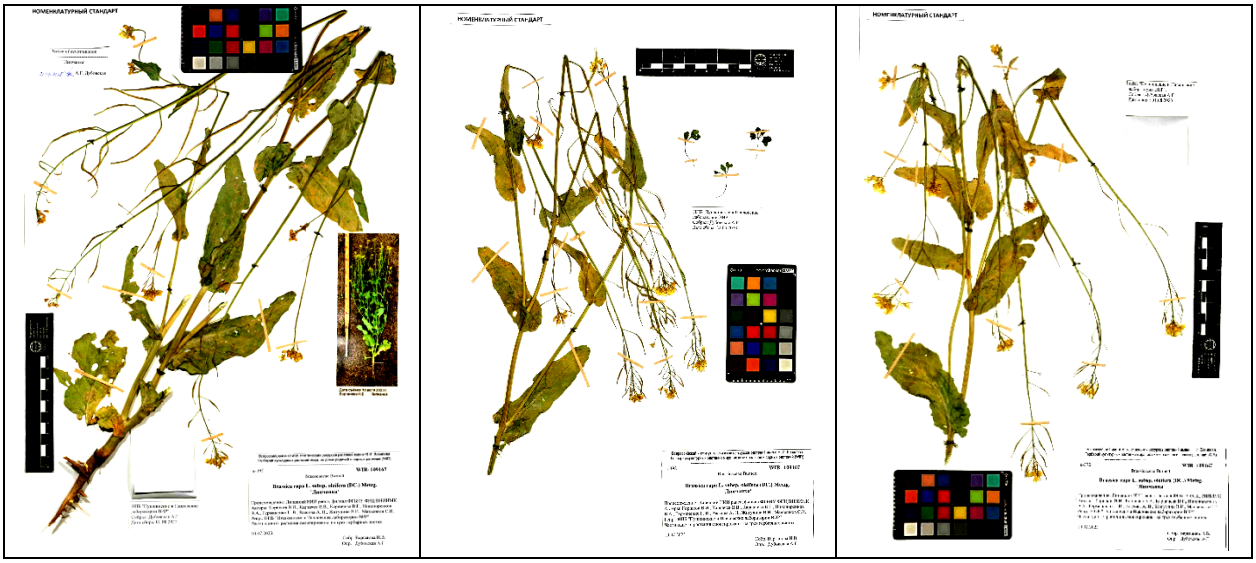


Рис. 2. **Номенклатурный стандарт яровой сурепицы сорта ‘Липчанка’, представленный на трех гербарных листах** /

Fig. 2. **Nomenclatural standard of the ‘Lipchanka’ spring turnip rape cultivar performed on 3 herbarium sheets**

Brassica rapa L. subsp. *oleifera* (DC.) Metzg. сорт **'Липчанка'**, авторы: Горшков В. И., Карпачев В. В., Карпачева В. Г., Никоноренков В. А., Германенко Г. В., Власова А. Н., Жигулина В. И., Манаенков С. И. /

Brassica rapa L. subsp. *oleifera* (DC.) Metzg. Сорт **'Lipchanka'**, authors: Gorshkov V. I., Karpachev V. V., Karpacheva V. G., Nikonorenkov V. A., Germanenko G. V., Vlasova A. N., Zhigulina V. I., Manaenkov S. I.

Nomenclatural standard: Происхождение: Липецкий НИИ рапса, филиал «ФНЦ «Всероссийский НИИ масличных культур имени В. С. Пустовойта». Репродукция: НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». 10 VII 2023. Собрала: Варганова И. В., определила: Дубовская А. Г. /

Origin: "Federal Scientific Center "All-Russian Research Institute of Oil Crops named after V. S. Pustovoit". Reproduction: Pushkin and Pavlovsk laboratories of VIR, 10 VII 2023. Coll.: Varganova I. V., det.: Dubovskaya A. G. **WIR-109167.**

Заключение. Результаты исследований за период 2019–2024 гг. позволяют охарактеризовать сорт яровой сурепицы 'Липчанка' в условиях Санкт-Петербурга (Северо-Западный регион России) как стабильный по ряду морфобиологических и хозяйственно ценных признаков. Низкая вариабельность по годам исследований (CV менее 10 %) отмечена по продолжительности периода «всходы – цветение», продуктивности растения, количеству ветвей первого порядка, среднему количеству семян в стручке и массе 1000 семян. Масса 1000 семян оставалась стабильной на протяжении всего периода исследований (2,7–3,1 г, CV = 0,02 %), что подтверждает выравненность сорта и его генетическую устойчивость по этому признаку к факторам внешней среды.

Гербарий сорта 'Липчанка', назначенный номенклатурным стандартом, зарегистрирован в базе данных «Гербарий ВИР» и передан на хранение в Национальный центр генетических ресурсов растений.

Список литературы

1. Nagaharu U. Genome analysis in Brassica with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. Japanese Journal of Botany. 1935;7:389–452.

2. Liu Z., Li N., Yu T., Wang Z., Wang J., Ren J. et al. The Brassicaceae Genome Resource (TBGR): a comprehensive genome platform for Brassicaceae plants. Plant Physiology. 2022;190(1):226–237. DOI: https://doi.org/10.1093/plphys/kiac266

3. Amosova A. V., Samatadze T. E., Mozgova G. V., Kipen V. N., Dubovskaya A. G., Artemyeva A. M. et al. Genomic Markers Associated with Cold-Hardiness in Brassica rapa L. Molecular Biology. 2020;54(4):541–552. DOI: https://doi.org/10.1134/S0026893320040032

4. Das G. G., Malek M. A., Shamsuddin A. K. M., Sagor G. H. M. Development of high yielding early matured and shattering tolerant *Brassica napus* L. through interspecific hybridization between *B. rapa* L. and *B. oleracea* L. Genetic Resources and Crop Evolution. 2022;69:1009–1018. DOI: https://doi.org/10.1007/s10722-021-01277-3

5. Маркелова Н. Г., Карпачев В. В. Биохимическая оценка жёлтосемянных линий ярового рапса *Brassica napus* L. Успехи современного естествознания. 2021;(11):19–25. DOI: https://doi.org/10.17513/use.37707 EDN: NZYOAM

6. Liu Y., Weng Z., Liu Y., Tian M., Yang Y., Pan N. et al. Identification of the Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase Gene Family in Brassica U-Triangle Species and Its Potential Roles in Response to Abiotic Stress and Regulation of Seed Coat Color in Brassica napus L. Plants. 2025;14(8):1184. DOI: https://doi.org/10.3390/plants14081184

7. Porokhovinova E. A., Matveeva T. V., Khafizova G. V., Bemova V. D., Doubovskaya A. G., Kishlyan N. V. et al. Fatty acid composition of oil crops: genetics and genetic engineering. Genetic Resources and Crop Evolution. 2022;69:2029–2045. DOI: https://doi.org/10.1007/s10722-022-01391-w

8. Бочкарева Э. Б., Горлова Л. А., Сердюк В. В., Стрельников Е. А. История селекции рапса ярового во ВНИИМК (обзор). Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2023;(3(195)):88–97. DOI: https://doi.org/10.25230/2412-608x-2023-3-195-88-97 EDN: HXEKZC

9. Кузнецова Г. Н., Полякова Р. С., Лошкомойников И. А. Продуктивность и жирнокислотный состав масла рапса и сурепицы в условиях Западной Сибири. Международный сельскохозяйственный журнал. 2017;(6):42–44. DOI: https://doi.org/10.24411/2587-6740-2017-16010 EDN: ZTUOLP

10. Vasileva V., Lupova E., Vinogradov D. The yield of spring bird rape (*Brassica campestris* L.) varieties according to the level of mineral nutrition. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2021;27(4):744–750. URL: https://agrojournal.org/27/04-14.pdf

11. Косолапов В. М., Зверкова З. Н., Ишмуратов Х. Г., Осипян Б. А., Коровина Л. М. Семена яровой сурепицы в рационах цыплят-бройлеров. Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. 2021;(25(73)):153–157. DOI: https://doi.org/10.33814/MAK-2021-25-73-153-157

12. Bochkarova E. B., Gorlova L. A., Serdyuk V. V., Strelnikov E. A., Kuznetsova G. N. Breeding of spring turnip rape, *Brassica rapa* L. var. subsp. campestris (L.) A.R Clapham at All-Russian Research Institute of Oil Crops. Caspian journal of environmental sciences. 2021. pp. 19. DOI: https://doi.org/10.22124/CJES.2021.5144

13. Першаков А. Ю., Дёмин Е. А. Урожайность и масличность сурепицы яровой, возделываемой в Северной лесостепи Тюменской области. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2023;(3(74)):51–54. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=54516741 EDN: VZYELQ

14. Антонова О. Ю., Клименко Н. С., Рыбаков Д. А., Фомина Н. А., Желтова В. В., Новикова Л. Ю., Гавриленко Т. А. SSR-анализ современных российских сортов картофеля с использованием ДНК номенклатурных стандартов. Биотехнология и селекция растений. 2020;3(4):77–96.
DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-4-o2 EDN: AVVIEX

15. Islam Sh., Haque Md. M., Bhuiyan Sh. R., Hossain S.. Path Coefficient Analysis and Correlation Coefficients Effects of Different Characters on Yield of *Brassica rapa* L. Plant. 2016;4(6):51–55.
DOI: https://doi.org/10.11648/j.plant.20160406.12

16. Lu G., Zhang F., Zheng P., Cheng Y., Liu F., Fu G., Zhang X. Relationship Among Yield Components and Selection Criteria for Yield Improvement in Early Rapeseed (*Brassica napus* L.). Agricultural Sciences in China. 2011;10(7):997–1003. DOI: https://doi.org/10.1016/S1671-2927(11)60086-2

References

1. Nagaharu U. Genome analysis in Brassica with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. Japanese Journal of Botany. 1935;7:389–452.

2. Liu Z., Li N., Yu T., Wang Z., Wang J., Ren J. et al. The Brassicaceae Genome Resource (TBGR): a comprehensive genome platform for Brassicaceae plants. Plant Physiology. 2022;190(1):226–237.
DOI: https://doi.org/10.1093/plphys/kiac266

3. Amosova A. V., Samatadze T. E., Mozgova G. V., Kipen V. N., Dubovskaya A. G., Artemyeva A. M. et al. Genomic Markers Associated with Cold-Hardiness in Brassica rapa L. Molecular Biology. 2020;54(4):541–552. DOI: https://doi.org/10.1134/S0026893320040032

4. Das G. G., Malek M. A., Shamsuddin A. K. M., Sagor G. H. M. Development of high yielding early matured and shattering tolerant *Brassica napus* L. through interspecific hybridization between *B. rapa* L. and *B. oleracea* L. Genetic Resources and Crop Evolution. 2022;69:1009–1018.
DOI: https://doi.org/10.1007/s10722-021-01277-3

5. Markelova N. G., Karpachev V. V. Biochemical assessment of yellow spring rape *Brassica napus* L. seed lines. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2021;(11):19–25. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.17513/use.37707

6. Liu Y., Weng Z., Liu Y., Tian M., Yang Y., Pan N. et al. Identification of the Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase Gene Family in Brassica U-Triangle Species and Its Potential Roles in Response to Abiotic Stress and Regulation of Seed Coat Color in Brassica napus L. Plants. 2025;14(8):1184.
DOI: https://doi.org/10.3390/plants14081184

7. Porokhovinova E. A., Matveeva T. V., Khafizova G. V., Bemova V. D., Doubovskaya A. G., Kishlyan N. V. et al. Fatty acid composition of oil crops: genetics and genetic engineering. Genetic Resources and Crop Evolution. 2022;69:2029–2045. DOI: https://doi.org/10.1007/s10722-022-01391-w

8. Bochkareva E. B., Gorlova L. A., Serdyuk V. V., Strelnikov E. A. The history of spring rapeseed breeding at V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of oil crops (review). *Maslichnie kulturi. Nauchno-tekhnichesky byulleten Vserossiyskogo nauchno-issledovatelskogo instituta maslichnikh kultur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2023;(3(195)):88–97. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.25230/2412-608x-2023-3-195-88-97

9. Kuznetsova G. N., Polyakova R. S., Loshkomoynikov I. A. Productivity and fatty-acid composition of oil – rapeseed and field mustard of Western Siberia. *Mezhdunarodny selskokhozyaystvenny zhurnal* = International agricultural journal. 2017;(6):42–44. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/2587-6740-2017-16010

10. Vasileva V., Lupova E., Vinogradov D. The yield of spring bird rape (*Brassica campestris* L.) varieties according to the level of mineral nutrition. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2021;27(4):744–750.
URL: https://agrojournal.org/27/04-14.pdf

11. Kosolapov V., Zverkova Z., Ishmuratov H., Osipyan B., Korovina L. Seeds of spring Brassica campestris in the diets of chickens-broilers. Multifunctional adaptive fodder production. 2021;(25(73)):153–157. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33814/MAK-2021-25-73-153-157

12. Bochkarova E. B., Gorlova L. A., Serdyuk V. V., Strelnikov E. A., Kuznetsova G. N. Breeding of spring turnip rape, *Brassica rapa* L. var. subsp. campestris (L.) A.R Clapham at All-Russian Research Institute of Oil Crops. Caspian journal of environmental sciences. 2021. pp. 19. DOI: https://doi.org/10.22124/CJES.2021.5144

13. Pershakov A. Yu., Demin E. A. Productivity and oil content of spring rape cultivated in the northern forest-steppe of the Tyumen region. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;(3(74)):51–54. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54516741

14. Antonova O.Yu., Klimenko N. S., Rybakov D. A., Fomina N. A., Zheltova V. V., Novikova L. Yu., Gavrilenko T. A. SSR analysis of modern Russian potato varieties using DNA samples of nomenclatural standards. *Biotekhnologiya i selektsiya rasteny* = Plant Biotechnology and Breeding. 2020;3(4):77–96. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-4-o2

15. Islam Sh., Haque Md. M., Bhuiyan Sh. R., Hossain S.. Path Coefficient Analysis and Correlation Coefficients Effects of Different Characters on Yield of *Brassica rapa* L. Plant. 2016;4(6):51–55. DOI: https://doi.org/10.11648/j.plant.20160406.12

16. Lu G., Zhang F., Zheng P., Cheng Y., Liu F., Fu G., Zhang X. Relationship Among Yield Components and Selection Criteria for Yield Improvement in Early Rapeseed (*Brassica napus* L.). Agricultural Sciences in China. 2011;10(7):997–1003. DOI: https://doi.org/10.1016/S1671-2927(11)60086-2

Сведения об авторах

✉ **Варганова Ирина Викторовна**, младший научный сотрудник, отдел агроботаники и *in situ* сохранения генетических ресурсов растений, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский научно-исследовательский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова», ул. Большая Морская, д. 42, 44, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5054-6410, e-mail: i.varganova@vir.nw.ru

Горшков Владимир Иванович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория селекции и семеноводства рапса, Липецкий научно-исследовательский институт рапса – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», Боевой проезд 26, г. Липецк, Липецкая обл., Российская Федеоация, 398037,
e-mail: info@lniir.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0000-8265-9375**

Лебедева Наталья Васильевна, младший научный сотрудник, отдел агроботаники и *in situ* сохранения генетических ресурсов растений, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский научно-исследовательский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова», ул. Большая Морская, д. 42, 44, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru,
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-6184-0598

Дубовская Александра Григорьевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, отдел генетических ресурсов масличных и прядильных культур, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский научно-исследовательский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова», ул. Большая Морская, д. 42, 44, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2487-5912

Information about the authors

✉ **Irina V. Varganova**, junior researcher, the Department of Agrobotany and *in situ* Conservation of Plant Genetic Resources, Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Str., St. Petersburg, Russian Federation, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5054-6410, e-mail: i.varganova@vir.nw.ru

Vladimir I. Gorshkov, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Rape Breeding and Seed Production, Lipetsk Rapeseed Research Institute – branch of the 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/0009-0000-8265-9375

Natalia V. Lebedeva, junior researcher, the Department of Agrobotany and *in situ* Conservation of Plant Genetic Resources, Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Str., St. Petersburg, Russian Federation, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru,
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-6184-0598

Alexandra G. Dubovskaya, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Department of Genetic Resources of Oil and Fiber crops, Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Str., St. Petersburg, Russian Federation, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2487-5912

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.76–83
УДК 634.723.1

(cc) BY

Отбор сортообразцов черной смородины на пригодность к механизированной уборке урожая в условиях Среднего Урала

© 2026. Е. М. Чеботок✉
ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург, Российская Федерация

В условиях Свердловской области (Средний Урал) проведено изучение отборных сеянцев смородины черной уральской селекции и выделены наиболее перспективные для механизированной уборки урожая. Объектами исследований являлись 29 отборных сеянцев смородины черной селекции Свердловской селекционной станции садоводства (посадка 2019 г., схема размещения 3×1 м). Исследования проводили в 2021–2024 гг. согласно общепринятым методикам. Результаты учетов и измерений сравнивали с соответствующими величинами модели сорта, пригодного к механизированной уборке урожая. По высоте куста (110–130 см) требованиям отвечали 13 отборных сеянцев. Бóльшая часть изученных сортообразцов соответствовала заданным параметрам по ширине куста (110–130 см) и диаметру его основания (20–25 см), количеству полеглых веток (менее 5 %) и диаметру ветвей (8–20 мм). Приемлемый угол отхождения ветвей (20–60º) обнаружен у 21 сортообразца. По средней массе ягоды (1,5–1,9 г) требованиям удовлетворяли 14 сортообразцов. Оптимальные величины усилия раздавливания ягод (237–660 г) отмечены практически у всех изученных гибридных сеянцев, за исключением двух. По усилию отрыва ягод (50–71 г) модельным параметрам соответствовали 8 отборных сеянцев. По результатам оценки пригодности для механизированной уборки урожая, оптимальными значениями по всем параметрам, при отличной укореняемости зеленым черенком, обладали отборные сеянцы смородины черной 1-2-2-14-18 и 1-2-6-14-18, полученные от свободного опыления сорта Рада.

Ключевые слова: *селекция, сеянцы, хозяйственно ценные признаки, комбайновая уборка, лимитирующие признаки, нелимитирующие признаки, укореняемость, Свердловская область*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № 0532-2026-0012).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Чеботок Е. М. Отбор сортообразцов черной смородины на пригодность к механизированной уборке урожая в условиях Среднего Урала. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):76–83.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.76-83

Поступила: 25.04.2025 Принята к публикации: 16.01.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Selection of blackcurrant accessions for suitability for mechanized harvesting in the conditions of the Middle Urals

© 2026. Elena M. Chebotok✉
Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

A study of selected blackcurrant seedlings bred in the Urals was conducted in the Sverdlovsk region (Middle Urals), and the most promising cultivars for mechanized harvesting were identified. The study subjects were 29 selected blackcurrant seedlings bred by the Sverdlovsk Breeding Station of Horticulture (planted in 2019, spaced 3x1 m). The studies were carried out from 2021 to 2024 according to generally accepted methods. Survey and measurement results were compared with the corresponding values of the cultivar model suitable for mechanized harvesting. Thirteen selected seedlings met the required bush height (110–130 cm). Most of the studied accessions met the specified parameters for bush width (110–130 cm) and basal diameter (20–25 cm), the number of lodged branches (less than 5%), and branch diameter (8–20 mm). An acceptable branch angle (20–60º) was found in 21 variety accessions. Fourteen accessions met the requirements for average berry weight (1.5–1.9 g). Optimum berry crushing force values (237–660 g) were observed in almost all of the studied hybrid seedlings, with two exceptions. Eight selected seedlings met the model parameters for berry detachment force (50–71 g). According to the results of the assessment of suitability for mechanized harvesting, the selected black currant seedlings 1-2-2-14-18 and 1-2-6-14-18 obtained from open pollination of the 'Rada' cultivar had optimal values in all parameters, with excellent rooting by green cuttings.

Key words: *breeding, seedlings, agronomic traits, combine harvesting, limiting traits, non-limiting traits, rooting, Sverdlovsk region*

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 (theme No. 0532-2026-0012).

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

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

For citation: Chebotok E. M. Selection of blackcurrant accessions for suitability for mechanized harvesting in the conditions of the Middle Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):76–83. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.76-83

Received: 25.04.2025 Accepted for publication: 16.01.2026 Published online: 27.02.2026

По рекомендациям Министерства здравоохранения РФ средняя норма потребления свежей плодово-ягодной продукции на одного человека должна составлять 100 кг в год, из которых около 70 % должно приходиться на продукцию собственного производства согласно Доктрине продовольственной безопасности РФ[1]. Доля ягодных культур в структуре многолетних насаждений в районах с суровыми зимними условиями и коротким периодом вегетации должна быть не менее 60 %. В северных регионах России ягодные культуры, в том числе смородина черная, способны обеспечить стабильную продуктивность многолетних насаждений и максимальную механизацию производства. В связи с увеличением площадей производства ягодной продукции на Среднем Урале возникает необходимость создания современных сортов смородины черной, соответствующих технологическим требованиям [1]. Для этого в процессе селекционной работы необходим отбор сеянцев, которые сочетают высокую адаптивность к условиям возделывания с комплексом хозяйственно ценных признаков, определяющих, в том числе, пригодность сорта к механической уборке урожая [2, 3, 4]. Соответствие сортов установленным признакам (модели сорта) определяет пригодность к механизированной уборке по нелимитирующим (параметры, которые не оказывают влияния на качество и объем собранного урожая, но влияют на продолжительность эксплуатации насаждений) [5, 6, 7] и лимитирующим признакам (параметры, не поддающиеся управлению с помощью агротехнических мероприятий, от которых зависит объем и качество собираемого урожая) [8, 9, 10].

Цель исследований – выявить из числа изучаемых отборных сеянцев смородины черной формы, пригодные к механизированной уборке урожая в условиях Среднего Урала.

Научная новизна – проведено изучение отборных сеянцев смородины черной уральской селекции и выделены наиболее перспективные для механизированной уборки урожая.

Материал и методы. Исследования выполнены в отделе селекции и сортоизучения плодовых и ягодных культур Свердловской ССС – структурного подразделения ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в коллекционных насаждениях смородины черной посадки 2019 г. Схема посадки 3×1 м. Участок расположен на богаре. Почва дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая среднекислая ($pH_{сол.}$ – 5,1–5,5), окультуренная (содержание гумуса в слое 0–20 см – 5–7 %).

Объекты исследований – 29 отборных сеянцев смородины черной различного происхождения селекции Свердловской селекционной станции садоводства (табл. 1).

Исследования проводили согласно общепринятой методике по сортоизучению[2], методике оценки и подбора сортов черной смородины для машинной уборки урожая, разработанной ФГБНУ ФНЦ им. И. В. Мичурина[3]. По методике оценки по нелимитирующим признакам проводят в насаждениях 4-5-летнего возраста [10, 11, 12], в опыте исследовали 5-летние растения в 2024 г. Среднюю массу ягоды черной смородины определяли с 2021 по 2024 г. Усилия отрыва и раздавливания ягод измеряли на приборах «Дина» и «Плодтест» (ФГБУН СФНЦА РАН, г. Новосибирск) в 2022 и 2023 гг. Учеты и измерения проводили на 10 растениях каждого сортообразца.

Математическую обработку данных выполняли методом статистической характеристики количественной изменчивости в соответствии с методикой полевого опыта[4].

Черенковый материал для оценки укореняемости брали с боковых побегов опытных образцов, на которых проводили остальные исследования. Дата черенкования – 18 июля 2024 г., оценка укоренения черенков – 16 сентября 2024 г.

[1]Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2020. 23 с. URL: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/3e5/3e5941f295a77fdcfed2014f82ecf37f.pdf

[2]Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Под общ. ред. Е. Н. Седова и Т. П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с.

[3]Якименко О. Ф., Новопокровский В. С. Оценка и подбор сортов черной смородины для машинной уборки урожая: методические рекомендации. Мичуринск, 1988. 16 с.

[4]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Колос, 1979. 416 с.

Таблица 1 – **Происхождение отборных сеянцев смородины черной уральской селекции /**
Table 1 – **The origin of selected seedlings of black currant of the Ural selection**

Сортообразец / Accession	*Гибридная семья / Hybrid family*
1-1-1-14-18	Краса Львова – свободное опыление / ‘Krasa L'vova’ – free pollination
1-1-4-14-18	
1-1-6-14-18	
1-1-7-14-18	
1-1-9-14-18	
1-1-13-14-18	
1-2-2-14-18	Рада – свободное опыление / ‘Rada’ – free pollination
1-2-6-14-18	
2-1-1-14-18	Напев уральский – свободное опыление / ‘Napev ural'skij’ – free pollination
2-2-1-14-18	Вымпел – свободное опыление / ‘Vympel’ – free pollination
2-2-2-14-18	
2-3-1-14-18	Краса Львова × Добрый Джинн / ‘Krasa L'vova’ × ‘Dobryj Dzhinn’
2-4-1-14-18	Вымпел × Добрый Джинн / ‘Vympel’ × ‘Dobryj Dzhinn’
3-1-1-14-18	Краса Львова × Пилот / ‘Krasa L'vova’ × ‘Pilot’
3-1-2-14-18	
3-1-3-14-18	
3-1-4-14-18	
3-1-5-14-18	
3-1-6-14-18	
3-1-7-14-18	
3-1-8-14-18	
3-1-9-14-18	
3-2-1-14-18	Вымпел × Пилот / ‘Vympel’ × ‘Pilot’
4-1-1-14-18	Пилот – свободное опыление / ‘Pilot’ – free pollination
4-1-2-14-18	
4-1-3-14-18	
4-2-1-14-18	Фортуна – свободное опыление / ‘Fortuna’ – free pollination
5-1-1-14-18	Краса Львова × Вымпел / ‘Krasa L'vova’ × ‘Vympel’
5-1-2-14-18	

Погодные условия в годы исследований: зимние периоды 2020–2024 гг. в целом были благоприятными для успешной перезимовки черной смородины на Среднем Урале, в декабре 2023 г. отмечен минимум температуры воздуха – -33,6 °С при высоте снежного покрова 60 см. Начало вегетации черной смородины в 2021, 2022 гг. установлено в обычные по среднемноголетним данным сроки, в 2023 и 2024 гг. – на 2 недели раньше. В мае 2023 г. зафиксирован заморозок до -5 °С. Май 2024 г. характеризовался холодной погодой со среднемесячной температурой воздуха ниже многолетних значений на 4,1 °С. С 4 по 16 мая, после длительной теплой погоды, установились продолжительные заморозки от -1 до -7 °С с выпадением осадков в виде снега до 15 см, что вызвало подмерзание цветков смородины и очень слабое плодоношение, также наблюдалось обламывание начавших рост побегов. В 2021 и 2023 гг. стояло жаркое сухое лето; в 2022 г. май и июнь характеризовались холодной и дождливой погодой, июль и август – засушливой и жаркой. В 2024 г. май, июнь, июль отличались повышенной влажностью, осадков выпало 146, 177, 113 % от нормы соответственно. Температурные условия июля и августа соответствовали средним многолетним значениям, а июнь был теплее на 2,7 °С. Осенние периоды в годы исследований были более теплые и сухие по сравнению со среднемноголетними данными.

Результаты и их обсуждение. Проведены биометрические учеты и измерения отборных сеянцев смородины черной для выявления пригодных к механизированной уборке урожая по нелиметирующим (табл. 2) и лиметирующим признакам (табл. 3).

Таблица 2 – **Оценка отборных сеянцев смородины черной по нелимитирующим признакам на пригодность к механизированной уборке урожая (2024 г.) /**
Table 2 – **Assessment of selected seedlings of black currant according to non-limiting characteristics for suitability for mechanized harvesting (2024)**

Сортообразец / Accession	*Высота куста, см / Bush height, cm*	*Ширина куста, см / Bush width, cm*	*Диаметр основания куста, см / Basal diameter of the bush, cm*	*Кол-во основных веток, шт. / Number of main branches, pieces*	*Кол-во полеглых веток, % / Number of lodged branches, %*	*Угол отхождения ветвей, град. / Branch angle, degree*	*Диаметр ветвей, мм / Branch diameter, mm*
Модель сорта / Cultivar model	110–180	110–150	20–30	до 20	< 5%	20–60	8–20
1-1-1-14-18	95	**120**	**20**	**10**	**0**	**45**	**8–15**
1-1-4-14-18	80	76	12	**4**	**0**	70	**10–20**
1-1-6-14-18	**120**	175	**20**	**12**	16	**40-45**	**8–20**
1-1-7-14-18	100	100	**20**	**12**	**0**	70	**10–16**
1-1-9-14-18	100	**130**	18	**7**	**0**	**50**	**12–17**
1-1-13-14-18	87	90	16	**12**	8	**60**	**9–16**
1-2-2-14-18	**125**	**150**	**20**	**12**	**0**	**45**	**9–20**
1-2-6-14-18	**130**	**150**	**20**	**20**	5	**45**	**9–17**
2-1-1-14-18	50	70	15	**7**	**0**	70	**8–20**
2-2-1-14-18	**115**	**115**	**20**	**18**	**0**	70	**8–18**
2-2-2-14-18	95	**120**	**20**	**11**	**0**	**45-60**	**13–20**
2-3-1-14-18	95	**120**	15	**8**	**0**	**60**	**9–18**
2-4-1-14-18	**120**	**150**	**25**	**13**	7	**45**	**8–20**
3-1-1-14-18	106	76	12	**6**	**0**	80	**8–15**
3-1-2-14-18	**110**	**140**	**20**	**10**	**0**	**50-60**	**10–15**
3-1-3-14-18	100	**120**	**20**	**11**	**0**	**60**	**10–14**
3-1-4-14-18	50	75	16	**7**	**0**	70	**8–19**
3-1-5-14-18	70	65	12	**5**	**0**	**60**	**8–12**
3-1-6-14-18	**125**	**150**	**20**	**9**	**0**	**45**	**8–18**
3-1-7-14-18	**120**	**150**	**20**	**9**	**0**	**45-60**	**12–19**
3-1-8-14-18	100	**115**	**20**	**13**	15	**30**	**8–12**
3-1-9-14-18	80	60	14	**5**	**0**	70	**8–13**
3-2-1-14-18	**115**	**135**	**20**	**14**	7	**45**	**9–20**
4-1-1-14-18	**120**	**150**	**20**	**13**	**0**	**45-60**	**8–20**
4-1-2-14-18	**120**	200	**20**	**10**	50	15-30	10–21
4-1-3-14-18	105	**135**	**20**	**18**	**5**	**45**	**10–17**
4-2-1-14-18	**115**	**150**	**20**	**13**	**0**	**45**	**10–14**
5-1-1-14-18	100	**120**	**20**	**10**	**0**	**60**	**9–20**
5-1-2-14-18	**110**	**140**	**20**	**10**	**0**	**40-60**	**10–18**

Примечание: жирным шрифтом выделены результаты учетов и измерений, которые входят в рамки рекомендуемых величин (соответствуют модели сорта) /

Note: Survey and measurement results that are within the recommended values are highlighted in bold (correspond to the cultivar model)

Таблица 3 – **Оценка отборных сеянцев смородины черной по массе ягод (2021–2024 гг.) и лимитирующим признакам (2022-2023 гг.) на пригодность к механизированной уборке урожая /**
Table 3 – **Evaluation of selected seedlings of black currant by berry weight (2021–2024) and limiting characteristics (2022-2023) for suitability for mechanized harvesting**

Сортообразец / Accession	*Средняя масса ягоды, г / Average berry weight, g*	*Коэффициент вариации* m_{mid}, *% / Coefficient of variation* m_{mid}, *%*	*Максимальная масса ягоды, г / Maximum berry weight, g*	*Коэффициент вариации* m_{max}, *% / Coefficient of variation* m_{max}, *%*	*Усилие, г / Force, g*	
					раздавливания ягод / berry crushing	*отрыва ягод / berry detachment force*
Модель сорта / Cultivar model	m_{mid} = 1,5 г и более / 1,5 g and more	0–20	m_{max} > 2,0 г / >2,0 g	0–20	> 200	50–150
1-1-1-14-18	1,0	**0,0**	1,5	**0,0**	**400**	33
1-1-4-14-18	0,8–**1,5***	35,5	**2,5–5,0**	34,3	**362**	**51**
1-1-6-14-18	1,0	**0,0**	1,5	**0,0**	**362**	16
1-1-7-14-18	0,9–**1,5**	31,5	1,5–2,0	**17,3**	**369**	**52**
1-1-9-14-18	0,8–1,0	**11,1**	1,5–2,0	**17,3**	**349**	29
1-1-13-14-18	1,0	**0,0**	2,0	**0,0**	**423**	39
1-2-2-14-18	1,0–**1,5**	**19,9**	**2,0–3,0**	**20,0**	**254**	**50**
1-2-6-14-18	1,0–**1,5**	21,6	**2,0–2,5**	**12,4**	**354**	**50**
2-1-1-14-18	0,8	**0,0**	1,5	**0,0**	190	33
2-2-1-14-18	1,2–**1,5**	**13,3**	1,8–**4,0**	46,8	**345**	**56**
2-2-2-14-18	1,2–**1,5**	**12,4**	**2,0–3,0**	**20,0**	161	39
2-3-1-14-18	1,0–**1,5**	24,7	1,5–2,0	**17,3**	**363**	23
2-4-1-14-18	0,8–1,2	**20,0**	1,5–**2,5**	31,5	**355**	31
3-1-1-14-18	0,8–1,0	**0,0**	1,5–**4,0**	52,9	**660**	32
3-1-2-14-18	1,0–1,2	**10,2**	2,0	**0,0**	**487**	30
3-1-3-14-18	1,0–**1,5**	21,6	1,5–**3,5**	40,0	**248**	**53**
3-1-4-14-18	1,2	**0,0**	2,0	**0,0**	180	35
3-1-5-14-18	1,0	**0,0**	**2,0-3,0**	**20,0**	**328**	34
3-1-6-14-18	1,2–**1,5**	**12,4**	**2,0–4,0**	43,3	**373**	36
3-1-7-14-18	0,9	**0,0**	1,5	**0,0**	**360**	18
3-1-8-14-18	1,2–**1,5**	**13,3**	1,8–**2,5**	**19,9**	**496**	**54**
3-1-9-14-18	0,8	**0,0**	1,0	**0,0**	**342**	14
3-2-1-14-18	1,2–**1,5**	**13,3**	2,0	**0,0**	**252**	46
4-1-1-14-18	**1,5–1,9**	**14,1**	**4,0**	**0,0**	192	**71**
4-1-2-14-18	1,0	**0,0**	1,5–2,0	**17,3**	**237**	37
4-1-3-14-18	0,5–0,9	30,1	1,3–1,8	**17,6**	**271**	39
4-2-1-14-18	1,0	**0,0**	**2,0–3,0**	24,7	**546**	36
5-1-1-14-18	1,0–**1,5**	21,6	1,5–**2,5**	25,0	**515**	29
5-1-2-14-18	1,0–**1,5**	24,7	**2,0–3,0**	24,7	**321**	21

Примечания: *диапазон от минимального до максимального значений в годы исследований; жирным шрифтом выделены результаты измерений и расчетов, которые входят в рамки рекомендуемых величин (соответствуют модели сорта) /

Notes: * range from minimum to maximum values in the years of the research; the results of measurements and calculations that fall within the recommended values are highlighted in bold (correspond to the cultivar model)

По высоте куста (110–130 см) модели сорта соответствуют отборные сеянцы: 1-1-6-14-18; 1-2-2-14-18; 1-2-6-14-18; 2-2-1-14-18; 2-4-1-14-18; 3-1-2-14-18; 3-1-6-14-18; 3-1-7-14-18; 3-2-1-14-18; 4-1-1-14-18; 4-1-2-14-18; 4-2-1-14-18; 5-1-2-14-18. По остальным показателям бóльшая часть отборных сеянцев соответствовала параметрам модели сорта. Так, ширина куста составила

115–150 см (у 19 из 29 сортообразцов), диаметр основания куста в пределах 20–25 см (у 20 из 29), количество полеглых веток менее 5 % (у 23 из 29), угол отхождения ветвей 20–60º (у 21 из 29), диаметр ветвей 8–20 мм (у всех, кроме сеянца 4-1-2-14-18). По всем нелимитирующим признакам модели сорта соответствовали отборные сеянцы смородины черной: 1-2-2-14-18; 1-2-6-14-18; 3-1-2-14-18; 3-1-6-14-18; 3-1-7-14-18; 4-1-1-14-18; 4-2-1-14-18; 5-1-2-14-18.

Средняя масса ягоды по требованиям модели сорта должна составлять 1,5 г и более, 14 образцов достигают данное значение (m_{mid} – 1,5–1,9 г) при нормальном количестве осадков. Наиболее крупные ягоды (m_{max}) отмечены у сортообразцов: 1-1-4-14-18 – 5,0 г; 2-2-1-14-18, 3-1-1-14-18, 3-1-6-14-18, 4-1-1-14-18 – 4,0 г. Средняя и максимальная масса ягод варьировала по годам в зависимости от сложившихся погодных условий. Наиболее сильно (значительная изменчивость) это проявилось у сортообразцов 1-1-4-14-18, 1-1-7-14-18, 2-3-1-14-18, 4-1-3-14-18, 5-1-2-14-18 – коэффициент вариации 24,7–35,5 % по средней массе ягоды, и у сортообразцов 1-1-4-14-18, 2-2-1-14-18, 2-4-1-14-18, 3-1-1-14-18, 3-1-6-14-18, 4-2-1-14-18, 5-1-1-14-18, 5-1-2-14-18 – 24,7–52,9 % по максимальной массе ягоды. У сеянцев 1-1-4-14-18 и 5-1-2-14-18 сильно варьировала по годам как средняя, так и максимальная масса ягод. Стабильная по годам средняя и максимальная масса ягод наблюдалась у значительной части изучаемых сортообразцов – коэффициент вариации 0,0–20,0 % (у 21 из 29), но стабильно высокие показатели проявились только у отборных сеянцев – 1-2-2-14-18, 2-2-2-14-18, 3-1-8-14-18, 4-1-1-14-18.

У всех сортообразцов отмечено одновременное созревание ягод, что позволяет собирать урожай в один прием.

В среднем за 2 года показатель «усилие раздавливания ягод» практически у всех отборных сеянцев (кроме 2-2-2-14-18, 4-1-1-14-18) достигал более 200 г (237–660 г), что отвечает требуемым параметрам. Показатель «усилие отрыва ягод» только у восьми отборных сеянцев – 1-1-4-14-18, 1-1-7-14-18, 1-2-2-14-18, 1-2-6-14-18, 2-2-1-14-18, 3-1-3-14-18, 3-1-8-14-18, 4-1-1-14-18 составило 50–71 г, что соответствует требуемым параметрам. По всем лимитирующим признакам, в сочетании со средней массой ягоды, модели сорта отвечали отборные сеянцы – 1-1-4-14-18, 1-1-7-14-18, 1-2-2-14-18, 1-2-6-14-18, 2-2-1-14-18, 3-1-3-14-18, 3-1-8-14-18.

По результатам оценки пригодности для механизированной уборки урожая, оптимальными значениями по всем параметрам обладали сортообразцы – 1-2-2-14-18, 1-2-6-14-18. Обе формы из гибридной семьи Рада – свободное опыление.

В связи с тем, что хорошая размножаемость сортообразцов имеет большое значение для успешного производственного использования, в 2024 г. на выделившихся отборных сеянцах провели исследования на укореняемость зеленым черенком (табл. 4). По приживаемости верхушечной части (96,8–100 %) по сравнению с контрольным сортом Удалец (93,3 %) выделились четыре образца: 1-2-2-14-18; 1-2-6-14-18; 2-4-1-14-18; 4-1-1-14-18. Сортообразец 1-2-6-14-18 отличался большим объемом корневой системы (3702,1 $см^3$) при хорошей облиственности верхушечной части зеленых черенков (4,3 балла). По приживаемости нижней части высокий процент на уровне контроля (73,3 %) показал образец 1-2-6-14-18 (75,0 %).

Таблица 4 – **Укореняемость зеленым черенком сортообразцов смородины черной (2024 г.) /**
Table 4 – **Rooting of black currant accessions by green cuttings (2024)**

Сортообразец / Accession	*Приживаемость, % / Survival rate, %*		*Объем корневой системы, $см^3$ / Root system volume, $см^3$*		*Средний балл облиственности / Average foliage score*	
	верх / top	*низ / bottom*	*верх / top*	*низ / bottom*	*верх / top*	*низ / bottom*
Удалец (к) / ‘Udalets’ (c)	93,3	73,3	3496,3	2214,6	4,5	2,0
1-2-2-14-18	96,9	50,0	2664,3	1940,0	4,1	1,2
2-4-1-14-18	100,0	53,1	3027,2	1144,0	3,9	1,1
1-2-6-14-18	96,8	75,0	3702,1	938,6	4,3	1,0
4-1-1-14-18	100,0	45,2	2911,1	1506,1	3,8	1,1

Заключение. По результатам комплексной оценки 29 отборных сеянцев смородины черной селекции Свердловской селекционной станции садоводства на пригодность к механизированной уборке урожая оптимальными значениями по всем изучаемым параметрам обладали сортообразцы 1-2-2-14-18 и 1-2-6-14-18, полученные от свободного опыления сорта Рада. Сортообразец 4-1-1-14-18 (Пилот – свободное опыление) также соответствует всем модельным параметрам, за исключением показателя «усилие раздавливания ягод».

Выделенные отборные сеянцы характеризуются отличной укореняемостью зеленым черенком – приживаемость верхушечной части достигает 96,8–100 %.

Список литературы

1. Чеботок Е. М. Комплексная оценка элитных форм черной смородины уральской селекции на пригодность к механизированной уборке урожая. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):616–622. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.616-622 EDN: NSHSLC

2. Чеботок Е. М. Итоги сортоизучения коллекции смородины черной на Среднем Урале. Плодоводство и ягодоводство России. 2020;60(1):136–143. DOI: https://doi.org/10.31676/2073-4948-2020-60-136-143 EDN: BOICYI

3. Салтыкова Т. И., Вахрушева Н. С., Софронов А. П. Предварительная оценка сортов смородины черной на пригодность к механизированной уборке в условиях Северо-Востока Европейской части России. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы VIII Междунар. научн.-практ. конф. Киров: ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого», 2022. С. 90–93. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49397440 EDN: PCJCJT

4. Сироткина Е. Н. Влияние абиотических факторов на сроки созревания сортов черной смородины в условиях Орловской области. Научный журнал молодых ученых. 2021;(2):38–44. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=46230623 EDN: PAGRSF

5. Даньшина О. В. Селекционная оценка сортов и форм чёрной смородины по ширине основания в связи с механизированной уборкой урожая. Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: мат-лы XVI Междунар. научн. конф. Кокино: Брянский ГАУ, 2019. С. 599–603. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41120198 EDN: AJKGFK

6. Якименко О. Ф. Производство ягод черной смородины на индустриальной основе. Садоводство и виноградарство. 2001;(3):21–24. Режим доступа: http://asprus.ru/blog/proizvodstvo-yagod-chernoj-smorodiny-na-industrialnoj-osnove/

7. Зазулин А. Г., Фролова Л. В., Платонова А. Р. Оценка сортов смородины черной в качестве исходного материала для селекции. Плодоводство. 2019;31:126–133. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=46452876 EDN: NFCIKP

8. Шавыркина М. А., Товарницкая М. В., Князев С. Д. Оценка сортов черной смородины селекции ВНИИСПК на пригодность к механизированной уборке урожая. Современное садоводство. 2015;(4):22–25. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25024501 EDN: SYWCLG

9. Панфилова О. В. О технологии возделывания ягодных культур, пригодных для механизированной уборки. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018;(5):85–90. DOI: https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/5/85-90 EDN: YLERAL

10. Краюшкина Н. С., Егорова К. И. Формирование сортимента смородины черной для регионально-адаптивной машинной технологии производства ягод. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018;(96):145–155. DOI: https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-100568 EDN: YNRYST

11. Якименко О. Ф. Индустриальная технология производства черной смородины. Пути повышения устойчивости садоводства: сб. науч. тр. Мичуринск: ВНИИ садоводства им. И. В. Мичурина, 1998. С. 170–172.

12. Якименко О. Ф., Суслина И. В. Ресурсосберегающая технология возделывания смородины черной. Научные основы эффективного садоводства: тр. ВНИИС им. И. В. Мичурина. 75 лет со дня основания. Воронеж: изд-во Кварта, 2006. С. 284–298.

References

1. Chebotok E. M. Comprehensive assessment of elite forms of black currant of the Ural selection for suitability to mechanized harvesting. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):616–622. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.616-622

2. Chebotok E. M. Results of variety study of black currant collection in the Middle Urals. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* = Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2020;60(1):136–143. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31676/2073-4948-2020-60-136-143

3. Saltykova T. I., Vakhrusheva N. S., Sofronov A. P. The preliminary assessment of black currant varieties on acceptability for mechanical harvesting in conditions of the North-East of European part of Russia. Methods and technologies in plant breeding and crop production: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference. Kirov: *FGBNU «FANTs Severo-Vostoka im. N. V. Rudnitskogo»*, 2022. pp. 90–93.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49397440

4. Sirotkina E. N. The influence of abiotic factors on the maturation period of blackcurrant cultivars in the conditions of the Orel region. *Nauchnyy zhurnal molodykh uchenykh.* 2021;(2):38–44. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=46230623

5. Danshina O. V. Breeding and evaluation of varieties and forms of black currant across the width of the foundation in connection with mechanized harvesting. Agroecological aspects of sustainable development of agro-industrial complex: Proceedings of the XVI International Scientific Conference. Kokino: *Bryanskiy GAU*, 2019. pp. 599–603. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41120198

6. Yakimenko O. F. Production of black currant berries on an industrial basis. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and viticulture. 2001;(3):21–24. (In Russ.).
URL: http://asprus.ru/blog/proizvodstvo-yagod-chernoj-smorodiny-na-industrialnoj-osnove/

7. Zazulin A. G., Frolova L. V., Platonova A. R. Assessment of black currant varieties as the parent material for breeding. *Plodovodstvo.* 2019;31:126–133. (In Belarus). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=46452876

8. Shavyrkina M. A., Tovarnitskaya M. V., Knyazev S. D. Evaluation of black currant varieties of VNIISPK breeding for suitability for mechanical harvesting. *Sovremennoe sadovodstvo* = Cotemporary horticulture. 2015;(4):22–25. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25024501

9. Panfilova O. V. On cultivation technology of berry crops suitable for mechanized harvesting. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2018;(5):85–90. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/5/85-90

10. Krayushkina N. S., Egorova K. I. Creation of black currant varieties range for regionally adaptive machine-based technology of berry production. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva.* 2018;(96):145–155. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-100568

11. Yakimenko O. F. Industrial technology of blackcurrant production. Ways to increase the sustainability of horticulture: collection of scientific articles. Michurinsk: *VNII sadovodstva im. I. V. Michurina*, 1998. pp. 170–172.

12. Yakimenko O. F., Suslina I. V. Resource-saving technology of black currant cultivation. Scientific foundations of effective horticulture: I. V. Michurin VNIIS scientific articles. Seventy-five years since the foundation. Voronezh: *izd-vo Kvarta*, 2006. pp. 284–298.

Сведения об авторе

✉ **Чеботок Елена Михайловна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620142, e-mail: info@urfanic.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5942-6178, e-mail: sadovodnauka@mail.ru

Information about the authors

✉ **Elena M. Chebotok**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Science, 112a Belinsky Street, Ekaterinburg, Russian Federation, 620076, e-mail: info@urfanic.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5942-6178**, e-mail: sadovodnauka@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.84–94
УДК 633.81

(cc) BY

Изучение перспективности возделывания фенхеля обыкновенного в Белгородской области

© 2026. Н. В. Невкрытая[1]✉, Е. Н. Дунаева[2], О. М. Золотилова[1], Е. Н. Грунина[1], С. И. Кривда[1], Н. С. Кривчик[1], В. К. Тохтарь[2], А. В. Дунаев[3]
[1]*ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», г. Симферополь, Российская Федерация,*
[2]*Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород, Российская Федерация,*
[3]*ОГАПОУ «Белгородский техникум промышленности и сферы услуг», г. Белгород, Российская Федерация*

Ценное эфиромасличное растение – фенхель обыкновенный (Foeniculum vulgare* Mill.) *возделывается в основном на юге России. В 2022–2024 гг. проведен сравнительный анализ параметров продуктивности и биохимических показателей сортов фенхеля Мерцишор и Оксамит Крыма селекции Научно-исследовательского института сельского хозяйства Крыма в условиях Предгорья Крыма и Белгородской области. Цель исследования – изучить перспективность возделывания сортов фенхеля в Белгородской области. Анализ основных показателей проводили согласно разработанным методикам в мелкоделяночном опыте (делянки трехрядковые, длина ряда – 5 м, ширина междурядья – 0,7 м, площадь – 9 м^2, повторность 3-кратная). В среднем за годы исследований урожайность сортов Мерцишор и Оксамит Крыма в I год вегетации получена существенно ниже в условиях Белгородской области (0,22–0,28 т/га), чем в предгорной зоне Крыма (0,55–0,42 т/га соответственно). Среднее содержание эфирного масла в плодах обоих сортов в большинстве случаев значимо не различалось по регионам, как и содержание основных компонентов эфирного масла – анетола (68,1–71,5 %) и фенхона (11,7–15,6 %), соответствующие требованиям ГОСТ 3902-82. Однако сбор эфирного масла у сортов Оксамит Крыма и Мерцишор был существенно ниже (в 1,6 и 2,9 раза соответственно, P≤0,05) в Белгородской области (12,8–15,2 кг/га). Сравнительные данные по продуктивности растений II года вегетации по двум экологическим точкам удалось получить только по одному году испытаний, т. к. в Белгородской области зимой 2022-2023 гг. растения погибли. Урожайность плодов изучаемых сортов в 2024 г. (0,51–0,72 т/га в Предгорьях Крыма и 0,90–0,92 т/га в Белгородской области), а также сбор эфирного масла (31,6–38,5 и 44,4–51,6 кг/га соответственно) были выше у двухлетних растений. Результаты экологического испытания указанных сортов фенхеля не позволяют рекомендовать их к возделыванию в условиях Белгородской области из-за высокой вероятности гибели растений в зимний период и низкой продуктивности в I год вегетации.

Ключевые слова: *Foeniculum vulgare* Mill., *урожайность, эфирное масло, анетол, фенхон*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (тема № 122101300040-6, 2022–2026 гг.).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Невкрытая Н. В., Дунаева Е. Н., Золотилова О. М., Грунина Е. Н., Кривда С. И., Кривчик Н. С., Тохтарь В. К., Дунаев А. В. Изучение перспективности возделывания фенхеля обыкновенного в Белгородской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):84–94. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-081.2026.27.1.84-94

Поступила: 27.05.2025 Принята к публикации: 21.01.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Studying the prospects of fennel cultivation in the Belgorod region

© 2026. Natalia V. Nevkrytaya[1]✉, Elena N. Dunaeva[2], Olga M. Zolotilova[1], Elena N. Grunina[1], Svetlana I. Krivda[1], Nina S. Krivchik[1], Valeriy K. Tokhtar[2], Alexander V. Dunaev[3]
[1]*Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation*
[2]*Scientific and Educational Center «BelSU Botanical Garden», Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation*
[3]*Belgorod College of Industry and Services, Belgorod, Russian Federation*

Fennel (Foeniculum vulgare Mill.), a valuable essential oil plant, is cultivated mainly in the south of Russia. A comparative analysis of productivity parameters and biochemical indicators of 'Mertsishor' and 'Oksamit Cryma' fennel cultivars bred by the Research Institute of Agriculture of Crimea was conducted in the conditions of the Crimean piedmont and Belgorod region from 2022 to 2024. The aim of the research was to investigate prospects of fennel cultivation in Belgorod region. Analysis of main indicators was carried out according to the developed methodologies in a small-plot experiment (plots were three-row, row length – 5 m, row spacing width – 0.7 m, plot area – 9 m^2, with three replications). On average over the years of the research

the yield of the 'Mertsishor' and 'Oksamit Cryma' cultivars in the first year of vegetation was significantly lower under conditions of Belgorod region (0.22–0.28 t/ha) than in the piedmont zone of Crimea (0.55–0.42 t/ha, respectively). Average essential oil content in fruits of both cultivars in most cases did not differ significantly between regions, nor did content of the main essential oil components – anethole (68.1–71.5 %) and fenchone (11.7–15.6 %) which meets requirements of GOST 3902-82. However essential oil yield of the 'Oksamit Cryma' and 'Mertsishor' cultivars was significantly lower (1.6 and 2.9 times, respectively, P ≤ 0.05) in Belgorod region (12.8–15.2 kg/ha). Comparative data on productivity of the second-year plants across two ecological locations could only be obtained for a single test year as plants in the Belgorod region perished during winter of 2022-2023. Fruit yield of the studied cultivars in 2024 (0.51–0.72 t/ha in the Crimean piedmont and 0.90–0.92 t/ha in Belgorod region) as well as essential oil yield (31.6–38.5 and 44.4–51.6 kg/ha, respectively) were higher in two-year-old plants. Results of the ecological trials for these fennel cultivars do not support their recommendation for cultivation in Belgorod region due to a high probability of plant loss during winter and low first-year productivity.

Keywords: *Foeniculum vulgare* Mill.*, yield, essential oil, anethole, fenchone*

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 Research Institute of Agriculture of Crimea (theme No. 122101300040-6, 2022-2026).

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: Nevkrytaya N. V., Dunaeva E. N., Zolotilova O. M., Grunina T. N., Krivda S. I., Krivchik N. S., Tokhtar V. K., Dunaev A. V. Studying the prospects of fennel cultivation in the Belgorod region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):84–94. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.84-94

Received: 27.05.2025 Accepted for publication: 21.01.2026 Published online: 27.02.2026

В настоящее время актуальным является увеличение эфиромасличного производства в Российской Федерации с целью снижения потребления импортного сырья для ряда производств. В связи с этим необходимо расширять регионы возделывания основных эфиромасличных культур.

Одним из достаточно распространенных и хорошо изученных эфиромасличных растений является представитель семейства Сельдерейные (Apiaceae) фенхель обыкновенный (*Foeniculum vulgare* Mill.[1]). Ценность этой культуры обусловлена накоплением в его сырье эфирного масла – до 3,5–10,0 % от абсолютно сухой массы в зрелых плодах [1]. В состав масла входит более 20 компонентов, из них основными, определяющими вкус и запах плодов, являются анетол – до 78 % и фенхон – до 15 %[2] [2, 3].

Исследованиями [4, 5, 6] установлено, что эфирное масло фенхеля обладает антиоксидантными, противогрибковыми, акарицидными, противоаллергическими и ноотропными свойствами, а также гепатопротекторным и эстрогеноподобным действием; способно предотвращать многие бактериальные, грибковые, вирусные, микобактериальные и протозойные инфекции. Выявление противоопухолевого, химиопрофилактического, цитопротекторного воздействия позволяет использовать масло фенхеля в разработке противораковых методов лечения [4, 7]. Эфирное масло и плоды фенхеля являются перспективными в качестве натуральных фитогенных препаратов в птицеводстве и животноводстве. Использование их в качестве альтернативы антибиотикам не только повышает резистентность и физиологические показатели молодняка сельскохозяйственных животных и птицы, но и увеличивает их продуктивность [8, 9, 10, 11].

Фенхель обыкновенный – многолетнее растение. В южных регионах России производственная плантация при хорошем агротехническом уходе может эксплуатироваться до 5 и более лет[3]. Для расширения ареала его выращивания необходимо проведение экологического испытания созданных сортов в разных регионах России.

[1]Невкрытая Н. В., Кривда С. И., Золотилова О. М., Золотилов В. А., Бабанина С. С., Аметова Э. Д., Марченко М. П., Новиков И. А., Дроботова Е. Н., Кривчик Н. С., Скипор О. Б. Специализированные коллекции эфиромасличных культур ФГБУН «НИИСХ Крыма». Кориандр посевной *Coriandrum sativum* L., фенхель обыкновенный *Foeniculum vulgare* Mill. Методические рекомендации по селекции и семеноводству эфиромасличных культур семейства Сельдерейные Apiaceae L.: справочное пособие. Симферополь: ИТ «Ариал», 2022. 202 с.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49379326 EDN: WLWHJX

[2]ГОСТ 3902-82. Масло эфирное фенхелевое. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1983. 8 с.
URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/21783/?ysclid=mb8ymrhuk290113742

[3]Невкрытая Н. В. и др. Указ. соч.

В Государственный реестр селекционных достижений РФ[4] включены сорта фенхеля обыкновенного Мерцишор и Оксамит Крыма селекции Научно-исследовательского института сельского хозяйства Крыма (НИИСХ Крыма). В предыдущие годы (2017–2019) проведено сравнительное экологическое испытание фенхеля обыкновенного в условиях Предгорья Крыма, западного Предкавказья (Краснодарский край) и Центрального региона Нечерноземной зоны (Подмосковье). На основании полученных данных сделан вывод, что условия Подмосковья неблагоприятны для производственного возделывания этой культуры, поскольку низкий температурный режим в зимний период зачастую приводит к вымерзанию растений, а рентабельность однолетней культуры низкая из-за невысокой продуктивности [12].

Цель исследования – изучить перспективность возделывания сортов фенхеля обыкновенного Оксамит Крыма и Мерцишор в условиях Белгородской области.

Научная новизна – впервые проведено экологическое испытание двух сортов фенхеля одновременно в условиях Предгорья Крыма и Белгородской области.

Материал и методы. Объект исследования – формирование показателей продуктивности фенхеля обыкновенного при возделывании в условиях разных регионов России**.** Материал исследований **–** сорта фенхеля обыкновенного Мерцишор и Оксамит Крыма. Сорта зарегистрированы в Госреестре со следующими показателями. *Сорт Меруишор*: урожайность плодов – 15,8 ц/га; массовая доля эфирного масла на абсолютно сухую массу – 6,31 % при влажности плодов 12 % (7,17 % от абсолютно сухой массы); содержание анетола в масле – 69,9 %; сбор эфирного масла при переработке плодов – 99,1 кг/га. *Сорт Оксамит Крыма:* урожайность плодов – 14,5 ц/га; массовая доля эфирного масла – 5,42 % при влажности плодов 12 % (6,16 % от абсолютно сухой массы); содержание анетола в масле – 73,6 %; сбор эфирного масла при переработке плодов – 76,5 кг/га.

Сравнительное изучение основных показателей испытываемых сортов выполнено в двух экологических точках на юго-западе России – предгорной зоне Крыма (6-я световая зона) и Белгородской области (5-я световая зона) в 2022–2024 гг. Одновременные исследования проводили в научном севообороте селекционно-семеноводческого центра эфиромасличных культур НИИСХ Крыма (с. Крымская роза, Белогорский район) и ботаническом саду ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (Ботсад БелГУ).

Схема опыта: делянки трехрядковые, длина ряда 5 м, ширина междурядья – 0,6 м. Площадь делянки – 9 м^2. Повторность опыта трехкратная. Норма высева семян – 3 г на 5 погонных метров.

В соответствии с разработанными методическими рекомендациями проведены фенологические наблюдения[5] и учеты следующих показателей: высота растений, масса 1000 плодов, урожайность плодов[6]. Определение содержания эфирного масла в плодах выполняли соответственно методикам[7, 8]. Сорта сравнивали по массовой доле эфирного масла, рассчитанной на абсолютно сухую массу плодов.

Компонентный состав эфирного масла определяли методом газо-жидкостной хроматографии на приборе «Кристалл 5000.2» с пламенно-ионизационным детектором[9].

Условия хроматографирования для идентификации компонентов эфирного масла: колонка капиллярная кварцевая длиной 30 м с внутренним диаметром 0,32 мм и толщиной фазы 0,5 микрон. Неподвижная фаза CR-WAXms.

[4]Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений (по состоянию на 31 мая 2024 г.). 620 с. [Электронный ресурс].
URL: https://gossortrf.ru/registry/?ysclid=lumjifvxsp94143317 (дата обращения: 10.03.2025).

[5]Бейдеман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. М.: Наука, 1974. 280 с.

[6]Невкрытая Н. В. и др. Указ. соч.

[7]Биохимические методы анализа эфиромасличных растений и эфирных масел: сборник научных трудов. Сост. Карпачева А. Н., Персидская К. Г., Лиштванова Л. Н. Министерство сельского хозяйства СССР, Научно-производственное объединение по эфиромасличным культурам и маслам, Всесоюзный научно-исследовательский институт эфиромасличных культур. Симферополь, 1972. 107 с.

[8]ГОСТ 17082.5-88. Плоды эфирномасличных культур, Промышленное сырье. Методы определения массовой доли эфирного масла. М.: Изд-во стандартов, 1989. 13 с.
URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/11663/?ysclid=mclshik39e973323105

[9]Леонтьев В. Н., Шутова А. Г., Коваленко Н. А., Супиченко Г. Н., Спиридович Е. В. Газохроматографическая идентификация эфирных масел. Труды Белорусского государственного университета. Минск: БГУ, 2006. Т. 1. Ч. 1. С. 261–267. URL: https://elib.bsu.by/handle/123456789/16076

Режим программирования температуры термостата колонки: 75 °С с выдержкой 1 мин, далее программирование со скоростью 4 °С/мин до 195 °С. Температура инжектора – 230 °С, температура детектора – 250 °С. Поток газа носителя – 1,9 мл/мин, деление потока газа-носителя – 1/20. Газ-носитель – гелий. Общее время анализа – 31 мин.

Идентификацию компонентов проводили путем сравнения их индексов удерживания по Ковачу[10] с литературными данными.

Статистическая обработка выполнена соответственно методике полевого опыта[11] с использованием стандартного пакета программ Microsoft Office Excel 2010. При анализе полученных экспериментальных данных рассчитаны средние показатели с ошибкой среднего на 95%-м уровне значимости.

Почвенно-климатические условия регионов экологического испытания[12, 13] приведены в таблице 1. Сравнение условий регионов показывает, что количество осадков в Белгородской области существенно выше, в среднем на 180–230 мм в год, чем в Крыму. На более засушливые условия Предгорья Крыма указывает и гидротермический коэффициент (ГТК). Что касается температурного режима, то по годовой сумме эффективных температур регионы практически не отличаются, однако период со среднесуточной температурой выше 0 °С в Крыму продолжительнее в среднем на 18 суток, а среднесуточная температура самого холодного зимнего месяца значительно выше, чем в Белгородской области.

Таблица 1 – **Почвенно-климатические условия регионов проведения исследования /**
Table 1 – **Soil and climatic conditions of the study regions**

Показатель / Indicator	*Предгорная зона Крыма / Crimean piedmont*	*Белгородская обл. / Belgorod region*
Макроклиматические показатели / Macroclimatic indicators		
Тип климата / Climate type	Умеренно-континентальный / Temperate continental	
Годовая сумма эффективных температур, °С / Annual sum of effective temperatures, °С	3200–3400	3349,4
Годовая сумма осадков, мм / Annual precipitation, mm	450–500	679,8
Гидротермический коэффициент увлажнения (по Г. Т. Селянинову) / Hydrothermal coefficient of humidification (by G. T. Selaninov)	0,9	1,0
Средняя суточная температура, °С / Average daily temperature, °С:		
самого теплого месяца (июль) / of the warmest month (July)	+22,3	+20,9
самого холодного месяца (январь) / of the coldest month (January)	-0,8	-8,0
Продолжительность периода со средней суточной температурой выше 0 °С, сутки / Duration of the period with an average daily temperature above 0°С, days	292	274
Почвенные условия / Soil conditions		
Тип почв / Soil type	Южный карбонатный чернозем / Southern carbonate chernozem	Выщелоченный чернозем / Leached chernozem
Гранулометрический состав почв / Granulometric composition of soils	Тяжелые суглинки/ Heavy loams	Суглинок / Loam
Кислотность, pH $_{водн.}$ / Acidity, pH	7,0-8,0	6,8–7,0

[10]ГОСТ 32507-2013. Бензины автомобильные и жидкие углеводородные смеси. Определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии. Приложение А.1. Индекс удерживания Ковача и линейный индекс удерживания. М.: Стандартинформ, 2014. С. 20-21. URL: https://base.garant.ru/71190386/

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

[12]Савчук Л. П. Климат предгорной зоны Крыма и эфироносы. Симферополь: ЧП «Эльиньо», 2006. 76 с.

[13]Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып. 28. Ч. 1-6. 362 с. URL: https://www.vo-da.ru/book/klimat-28?ysclid=m85s0d7syg567544433

Результаты и их обсуждение. Сравнение гидротермических условий в годы проведения исследований показывает, что сумма температур в период «цветение – плодообразование» (июнь – август) обоих сортов фенхеля обыкновенного – Оксамит Крыма и Мерцишор в условиях Крыма превышала таковую в Белгородской области в 2022, 2023 и 2024 гг. соответственно на 85, 185 и 146 ºС (табл. 2).

Таблица 2 – **Температурный режим и количество осадков в период активной вегетации растений фенхеля обыкновенного (2022–2024 гг.) /**
Table 2 – **Temperature regime and precipitation during the active growing season of common fennel plants (2022–2024)**

Год / Year	*Месяц / Month*	*Предгорная зона Крыма / Crimean piedmont*		*Белгородская область / Belgorod region*	
		сумма температур за месяц, ºС / the sum of temperatures for the month, °C	*количество осадков за месяц, мм / monthly precipitation, mm*	*сумма температур за месяц, ºС / the sum of temperatures for the month, °C*	*Количество осадков за месяц, мм / monthly precipitation, mm*
2022	Май / May	446	38	400	35
	Июнь / June	615	76	612	41
	Июль / July	698	20	632	36
	Август / August	729	72	713	54
	Сентябрь / September	525	11	354	95
	Сумма / Sum	**3013**	**217**	**2711**	**261**
2023	Май / May	450	55	453	4
	Июнь / June	597	23	561	55
	Июль / July	719	73	642	68
	Август / August	760	36	688	62
	Сентябрь / September	573	18	501	38
	Сумма / Sum	**3099**	**205**	**2845**	**227**
2024	Май / May	446	19	453	5
	Июнь / June	702	37	645	52
	Июль / July	806	16	766	8
	Август / August	747	9	698	16
	Сентябрь / September	609	6	582	0
	Сумма / Sum	**3310**	**87**	**3144**	**81**

За этот период в 2022, 2023, 2024 гг. в Крыму выпало соответственно 168, 132 и 62 мм, в Белгороде – 131, 185 и 76 мм. Условия 2024 г. значительно превосходили по температурному режиму и недостатку влаги предыдущие годы. Особенно экстремальными сложились условия в Крыму.

Посев фенхеля в условиях Белгородской области ежегодно проводили на 15–25 суток позже, чем в Крыму (табл. 3).

Соответственно позже наступали последующие фазы развития растений I года вегетации. Массовое цветение растений в обоих регионах отмечали в конце июля – августе с разницей 5–10 дней. Общая продолжительность вегетации растений обоих сортов была более длительной в условиях Крыма – на 5–19 суток в разные годы. Созревание плодов в Белгороде наступало в среднем на 7-8 суток позже, чем в Крыму. Причем это происходило в условиях более низкого температурного режима (табл. 2).

Растения сорта Оксамит Крыма в обоих регионах отличались бóльшей высотой по сравнению с сортом Мерцишор (табл. 4).

Таблица 3 – **Фенология развития растений фенхеля обыкновенного (2022–2024 гг.) /**
Table 3 – **Phenology of development of F. vulgare plants (2022–2024)**

Сорт / Cultivar	*Год / Year*	*Фаза развития растений / The phase of plant development*				*Продолжительность периода, сутки / Duration of the period, days*		
		посев / sowing	*всходы – отрастание / shoots – regrowth*	*массовое цветение / mass flowering*	*созревание семян / maturation of seeds*	*всходы – отрастание – цветение / shoots – regrowth – flowering*	*цветение – созревание / flowering – maturation*	*всходы – отрастание – созревание / shoots –regrowth – maturation*
Предгорная зона Крыма / Crimean piedmont								
Мерцишор, I год вегетации / ‘Mertsishor’, the 1st year of vegetation	2022	28.03	10.05	27.07	25.09	78	60	138
	2023	28.03	18.04	02.08	29.09	106	58	164
	2024	29.03	12.04	18.07	15.09	98	59	157
Мерцишор, II год вегетации / ‘Mertsishor’, the 2nd year of vegetation	2023	-	13.03	15.06	25.08	95	71	166
	2024	-	13.03	25.06	12.08	106	49	155
Оксамит Крыма, I год вегетации / 'Oksamit Cryma', the 1st year of vegetation	2022	28.03	13.05	01.08	18.09	80	48	128
	2023	28.03	18.04	04.08	03.10	108	60	168
	2024	29.03	14.04	18.07	15.09	96	59	155
Оксамит Крыма, II год вегетации / 'Oksamit Cryma', he 2nd year of vegetation	2023	-	13.03	19.06	27.08	98	69	167
	2024	-	13.03	25.06	16.08	104	53	156
Белгородская область / Belgorod region								
Мерцишор, I год вегетации / ‘Mertsishor’, the 1st year of vegetation	2022	17.05	30.05	02.08	30.09	64	59	123
	2023	13.04	04.05	12.08	10.10	100	59	159
	2024	24.04	08.05	22.07	23.09	75	63	138
Мерцишор, II год вегетации / ‘Mertsishor’, the 2nd year of vegetation	2023	Растения погибли в зимний период / The plants died in winter						
	2024	-	01.04	17.06	10.09	77	85	162
Оксамит Крыма, I год вегетации / 'Oksamit Cryma', the 1st year of vegetation	2022	17.05	30.05	02.08	30.09	64	59	123
	2023	13.04	04.05	12.08	10.10	100	59	159
	2024	24.04	08.05	22.07	23.09	75	63	138
Оксамит Крыма, II год вегетации / 'Oksamit Cryma', the 2nd year of vegetation	2023	Растения погибли в зимний период / The plants died in winter						
	2024	-	01.04	17.06	10.09	77	85	162

Таблица 4 – **Показатели сортов фенхеля обыкновенного в регионах исследования /**
Table 4 – **Indicators of common fennel cultivars in the study regions**

Сорт / Cultivar	*Год / Year*	*Высота растений, см / Plant height, cm*	*Масса 1000 плодов, г / Mass of 1000 fruit, g*	*Массовая доля эфирного масла, % / Mass fraction of essential oil, %*		*Основные компоненты эфирного масла, % / Main components of essential oil, %*		*Урожайность плодов, ц/га / Fruit yield, c/ha*	*Сбор эфирного масла, кг/га / Essential oil collection, kg/ha*
				от воздушно-сухой массы / of air-dry mass	*от абсолютно сухой массы / of absolutely dry mass*	*анетол / anethole*	*фенхон / fenchjne*		
Предгорная зона Крыма / Crimean piedmont									
Мерцишор I год / 'Mertsishor' the 1st year	2022	128,9±3,9	3,25±0,02	11,00±0,06	11,76±0,06	69,7±1,1	14,3±1,5	3,2±0,8	31,9±7,9
	2023	137,0±3,1	3,78±0,09	5,57±0,09	5,95±0,06	71,8±0,5	11,7±0,3	7,2±0,3	40,2±1,6
	2024	105,7±1,7	3,43±0,15	6,03±0,55	6,53±0,59	73,0±0,9	9,1±0,6	6,1±0,6	36,2±2,7
	Среднее	**123,9±4,9**	**3,49±0,09**	**7,53±0,88**	**8,07±0,94**	**71,5±0,7**	**11,7±0,9**	**5,5±0,7**	**37,3±2,9**
II год / The 2nd year	2023	195,3±1,5	4,08±0,02	4,83±0,12	5,14±0,13	70.7±0.5	12,7±0,2	11,9±0,6	57,5±1,8
	2024	178,0±1,5	3,75±0,12	5,55±0,66	6,13±0,54	75,3±0,5	9,1±0,6	7,2±1,2	38,5±4,3
	Среднее	**186,7±4,0**	**3,91±0,09**	**5,19±0,34**	**5,63±0,33**	**73,0±1,07**	**10,9±0,8**	**9,6±1,2**	**48,0±4,7**
Оксамит Крыма I год / 'Oksamit Cryma', the 1st year	2022	145,5±3,9	3,15±0,02	8,90±0,60	9,56±0,68	72,4±0,9	12,8±0,2	1,6±0,3	13,5±1,8
	2023	140,5±2,0	4,07±0,03	5,80±0,31	6,16±0,32	70,8±1,3	13,2±1,2	7,2±1,0	42,7±7,7
	2024	119,0±3,5	3,87±0,17	4,80±0,20	5,19±0,22	73,1±1,4	12,5±1,0	3,8±0,5	18,4±2,8
	Среднее	**135,2±4,3**	**3,69±0,15**	**6,51±0,66**	**6,97±0,70**	**72,1±0,7**	**12,8±0,5**	**4,2±0,9**	**24,8±5,1**
II год / The 2nd year	2023	207,7±2,0	4,13±0,03	5,60±0,06	5,95±0,06	73,5±0,4	12,4±0,2	16,2±1,1	90,7±56
	2024	191,0±8,3	4,45±0,05	6,15±0,20	6,65±0,22	74,9±0,3	10,6±0,5	5,1±0,8	31,6±5,7
	среднее	**199,3±5,3**	**4,29±0,08**	**5,88±0,15**	**6,30±0,19**	**74,2±0,4**	**11,5±0,5**	**10,6±2,6**	**61,1±13,7**
Белгородская область / Belgorod region									
Мерцишор I год / 'Mertsishor', the 1st year	2022	124,9±3,8	3,31±0,16	7,27±0,07	7,78±0,07	68,0±0,8	16,1±0,2	0,3±0,1	2,1±0,5
	2023	91,7±2,1	3,60±0,03	5,87±0,07	6,24±0,07	66,7±0,4	15,7±04	3,1±0,2	18,8±2,0
	2024	77,7±2,3	4,91±0,10	5,73±0,13	6,07±0,15	69,5±0,9	15,0±0,4	3,1±0,2	17,4±2,4
	Среднее	**98,1±7,3**	**3,95±0,28**	**6,29±0,25**	**6,69±0,28**	**68,1±0,6**	**15,6±0,2**	**2,2±0,5**	**12,8±2,8**
II год / The 2nd year	2023	Растения погибли в зимний период / The plants died in winter							
	2024	**90,4±4,5**	**3,82±0,15**	**4,87±0,18**	**5,17±0,18**	**68,0±1,4**	**15,1±0,3**	**9,0±0,4**	**44,4±1,9**
Оксамит Крыма I год / 'Oksamit Cryma', the 1st year	2022	134,1±5,0	4,01±0,16	8,17±0,22	8,74±0,23	71,8±0,2	14,1±0,1	0,5±0,2	4,5±0,8
	2023	100,4±2,7	3,70±0,04	5,93±0,07	6,31±0,07	69,0±0,4	14,2±0,2	4,0±0,2	23,7±3,1
	2024	73,3±3,7	4,67±0,19	4,67±0,13	4,95±0,14	72,6±0,2	12,2±0,4	3,7±0,2	17,4±0,8
	Среднее	**102,6±8,9**	**4,12±0,20**	**6,26±0,52**	**6,67±0,56**	**71,1±0,6**	**13,5±0,3**	**2,8±0,6**	**15,2±3,0**
II год / The 2nd year	2023	Растения погибли в зимний период / The plants died in winter							
	2024	**95,2±3,8**	**3,64±0,18**	**5,60±0,23**	**5,99±0,30**	**72,1±0,4**	**13,0±0,7**	**9,2±0,5**	**51,6±0,8**

В среднем за три года испытаний урожайность плодов растений I года вегетации сортов Оксамит Крыма и Мерцишор при выращивании в Крыму существенно превышала показатели по Белгородской области соответственно в 1,5 и 2,5 раза ($P \leq 0,05$) (табл. 4). Лишь в экстремально жарких и засушливых условиях 2024 г. в Крыму урожайность сорта Оксамит Крыма не отличалась от таковой в менее жестких условиях Белгорода. Пониженная урожайность плодов обоих сортов фенхеля в Белгородской области, по-видимому, обусловлена тем, что за более короткий период от всходов до цветения растения сформировали меньшую вегетативную массу. Это сказалось и на генеративной сфере. Кроме того, созревание плодов в Белгороде проходило позже, чем в Крыму, в условиях существенно более низкого температурного режима. Не все плоды, сформировавшиеся на побегах 2-3-го порядков, достигали нормальной зрелости.

По массе 1000 плодов различия обоих сортов в регионах изучения отсутствовали или были минимальными.

Содержание эфирного масла в плодах обоих сортов, пересчитанное для корректности сравнения на абсолютно сухую массу, в большинстве случаев также не различалось по регионам или различия, как правило, были минимальными. Как показывают результаты ряда исследований, содержание и компонентный состав эфирного масла в сырье сортов разных видов эфиромасличных растений может отличаться при выращивании их в условиях разных регионов [12, 13, 14]. Благоприятными для процесса маслообразования являются условия высоких (но не экстремальных) температур и относительно невысокой влажности. Отсутствие существенных различий данных показателей в регионах проведения настоящего исследования объясняется сходством гидротермических условий в период «цветение – плодообразование» растений (табл. 2, 3).

Сбор эфирного масла, величина которого обусловлена сочетанием двух основных показателей, в годы проведения исследования в основном определялся урожайностью плодов, созревание которых в Белгородской области проходило при более низком температурном режиме. Соответственно и величина этого показателя у сортов Оксамит Крыма и Мерцишор была существенно ниже в данном регионе – в 1,6 и 2,9 раза ($P \leq 0,05$) (табл. 4).

Содержание основного компонента – анетола в эфирном масле сортов в обоих регионах находилось в пределах 68,1–71,5 %, фенхона – 11,7–15,6 %, что соответствует требованиям стандарта ГОСТ 3902-82[14].

Значительно меньшая изменчивость массовой доли и содержания основных компонентов эфирного масла по сравнению с величиной урожайности может свидетельствовать о том, что влияние погодных условий менее значимо по сравнению с их генетической обусловленностью. Проанализировать показатели продуктивности растений обоих сортов на второй год вегетации в 2023 и 2024 гг. удалось только в Крыму. В Белгородской области в зимний период 2022-2023 гг. растения погибли, и анализ показателей сортов II года вегетации был проведен только в 2024 г. (табл. 4). Содержание эфирного масла у сорта Мерцишор не отличалось по регионам, а у сорта Оксамит Крыма было выше в Крыму на 34,5 %. Предсказуемо урожайность плодов обоих сортов была выше у двухлетних растений в обоих регионах, как и сбор эфирного масла. Особенно контрастные значения показателей отмечали у растений I и II гг. вегетации, произрастающих в Белгородской области.

Таким образом, как следует из полученных данных в Белгородской области, урожайность плодов и сбор эфирного масла обоих сортов в I год вегетации существенно уступает аналогичным показателям в условиях Предгорья Крыма соответственно в 1,5–2,5 и 1,6–2,9 раза ($P \leq 0,05$). Кроме того, фенхель – относительно теплолюбивое, неморозостойкое растение и не выдерживает низкие отрицательные температуры в зимний период. Аналогичные результаты перезимовки фенхеля обыкновенного получены при испытании этих же сортов в условиях Подмосковья [13]. Неблагоприятным образом на перезимовку могут также влиять амплитудные изменения температур от высоких, близких к нулю, нередко положительных, до низких отрицательных. Так, если сравнить колебания температур в феврале для зимы, после которой растения фенхеля погибли (2022-2023) и для зимы, после которой растения фенхеля возобновились из перезимовавшей подземной части (2023-2024 гг.), то следует констатировать, что в первом случае эти колебания были более значительны: $\Delta T = 25$ ºС (2022-2023 гг.) по сравнению $\Delta T = 18$ ºС (2023-2024 гг.).

[14]ГОСТ 3902-82. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/21783/?ysclid=mb8ymrhuk290113742

Заключение. Проведенное в 2022–2024 гг. сравнительное изучение показателей продуктивности сортов фенхеля обыкновенного Оксамит Крыма и Мерцишор селекции НИИСХ Крыма в двух экологических точках на юго-западе России показало, что соответственно характеристикам регионов почвенно-климатические условия Предгорья Крыма являются более засушливыми и теплыми по сравнению с Белгородской областью. Посев и уборка фенхеля в Крыму проводятся раньше в оптимальном температурном режиме, обеспечивая бóльшую продолжительность вегетационного периода с благоприятными условиями для формирования продуктивности. В Белгородской области посевную кампанию начинают на 15–25 суток позже в соответствии с наступлением оптимальных температурных условий. Продолжительность развития растений и общая продолжительность вегетационного периода короче. Созревание и уборка плодов проводится на 7-8 суток позже, причем в условиях пониженных температур. Общие условия вегетационного периода менее благоприятны для получения полноценного урожая. Так, урожайность плодов растений I года вегетации в Предгорье Крыма превышает таковую в Белгородской области в среднем по сортам в 1,5 и 2,5 раза ($P \leq 0,05$).

Проанализировать показатели растений II года вегетации обоих сортов на протяжении двух лет (2023 и 2024 гг.) удалось только в Крыму. В Белгородской области в зимний период 2022-2023 гг. растения погибли, и анализ показателей сортов II года вегетации был проведен только в 2024 г. Предсказуемо урожайность плодов обоих сортов была выше у двухлетних растений в обоих регионах. Соответственно выше был и сбор эфирного масла. Особенно контрастными были показатели растений I и II гг. вегетации обоих сортов в Белгородской области.

Среднее содержание эфирного масла у плодов обоих сортов в большинстве случаев не отличалось по регионам. Содержание основных компонентов эфирного масла – анетола (68,1–71,5 %) и фенхона (11,7–15,6 %) соответствовало требованиям ГОСТ 3902-82.

Сбор эфирного масла у сортов Оксамит Крыма и Мерцишор, в значительной степени зависящий от урожайности плодов, соответственно был существенно – в 1,6 и 2,9 раза ($P \leq 0,05$) ниже в Белгородской области по сравнению с Крымом.

Таким образом, проведенное сравнительное экологическое испытание сортов фенхеля Оксамит Крыма и Мерцишор в двух регионах не позволяет рекомендовать возделывать указанные сорта в условиях Белгородской области из-за высокой вероятности гибели растений в зимний период и низкой продуктивности культуры в I год вегетации

Список литературы

1. Войткевич С. А. Эфирные масла для парфюмерии и ароматерапии. М.: Пищевая промышленность, 1999. 284 с. Режим доступа: https://www.rulit.me/books/efirnye-masla-dlya-parfyumerii-i-aromaterapii-read-410434-1.html?ysclid=mb945ag9zr972146813

2. Работягов В. Д., Палий А. Е., Курдюкова О. Н. Эфирные масла ароматических растений: монография. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017. С. 29–30.

3. Паштецкий В. С., Тимашева Л. А., Пехова О. А., Данилова И. Л., Серебрякова О. А. Эфирные масла и их качество. Симферополь: ИТ «Ариал», 2021, 212 с. DOI: https://doi.org/10.33952/2542-0720-978-5-907506-16-9 EDN: KLVWID

4. Jadid N., Widodo A. F., Ermavitalini D., Sa'adah N. N., Gunawan S., Nisa C. The medicinal Umbelliferae plant Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.): Cultivation, traditional uses, phytopharmacological properties, and appli-cation in animal husbandry. Arabian Journal of Chemistry. 2023;16(3):104541. DOI: https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104541 EDN: ETNADM

5. Zeeshan A., Akram H., Qasim S., Naseer A., Nazar F., Rafique O. The Healing Touch of Foeniculum vulgare Mill. (Fennel): A Review on Its Medicinal Value and Health Benefits. Journal of Health and Rehabilitation Research. 2023;3(2):793–800. DOI: https://doi.org/10.61919/jhrr.v3i2.22

6. Debnath S., Kumar H., Sharma A. Foeniculum vulgare Mill. from Spice to Pharma: Recent Advances in Its Medicinal Value, Bioactivities, and Perspectives. Traditional and Integrative Medicine. 2023;8(2):217–229. DOI: https://doi.org/10.18502/tim.v8i2.13087

7. Ghasemian A., Al-Marzoqi A.-H., Mostafavi S. K. Sh., Alghanimi Ya. K., Teimour M. Chemical Composition and Antimicrobial and Cytotoxic Activities of Foeniculum vulgare Mill. Essential Oils. Journal of Gastrointestinal Cancer. 2020;51:260–266. DOI: https://doi.org/10.1007/s12029-019-00241-w

8. Khan R. U., Fatima A., Naz S., Ragni M., Tarricone S., Tufarelli V. Perspective, Opportunities and Challenges in Using Fennel (*Foeniculum vulgare*) in Poultry Health and Production as an Eco-Friendly Alternative to Antibiotics: A Review. Antibiotics. 2022;11(2):278. DOI: https://doi.org/10.3390/antibiotics11020278

9. Ostrenko K., Nevkrytaya N., Ovcharova A., Kutyin I., Koltsov K. Effect of Essential Oils of Coriander and Fennel on the Nonspecific Resistance of Dairy Calves. Agriculture Digitalization and Organic Production. 2023;362:171–179. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-99-4165-0_16

10. Волченков Ю. А. Влияние эфирных масел кориандра посевного и фенхеля обыкновенного на морфологические и биохимические показатели крови у свиней в послеотъемный период. Биология в сельском хозяйстве. 2025;(1(46)):24–27. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80501721 EDN: LPYMDM

11. Кольцов К. С., Остренко К. С., Овчарова А. Н., Кутьин И. В. Влияние добавок эфирных масел из плодов кориандра посевного и фенхеля обыкновенного на показатели иммунологического статуса и скорости роста у телят. Проблемы биологии продуктивных животных. 2024;(2):73–79.
DOI: https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2024.2.73-79 EDN: AOHLBN

12. Золотилова О. М., Невкрытая Н. В., Коротких И. Н., Аникина А. Ю. Экологическое испытание *Foeniculum vulgare* Mill. сорта Мерцишор. Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: мат-лы VII Международ. научно-практ. конф. Симферополь, 3–7 октября 2022 г. Науч. ред. В. С. Паштецкий. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2022. С. 108–110. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50355343 EDN: ALAWHH

13. Perrino E. V., Valerio F., Gannouchi A., Trani A., Mezzapesa G. Ecological and Plant Community Implication on Essential Oils Composition in Useful Wild Officinal Species: A Pilot Case Study in Apulia (Italy). Plants. 2021;10(3):574. DOI: https://doi.org/10.3390/plants10030574

14. Dobreva A., Getchovska K., Nedeltcheva-Antonova D. A comparative study of Saudi Arabia and Bulgarian Rose oil chemical profile: The effect of the technology and geographic origin. Flavour Fragrance Journal. 2020;35(5):584–596. DOI: https://doi.org/10.1002/ffj.3601

References

1. Voytkevich S. A. Essential oils for perfumery and aromatherapy. Moscow: *Pishchevaya promishlennost*, 1999. 284 p. URL: https://www.rulit.me/books/efirnye-masla-dlya-parfyumerii-i-aromaterapii-read-410434-1.html?ysclid=mb945ag9zr972146813

2. Rabotyagov V. D., Paly A. E., Kurdyukova O. N. Essential oils of aromatic plants: a monograph. Simferopol: *IT «ARIAL»*, 2017. pp. 29–30.

3. Pashtetsky V. S., Timasheva L. A., Pekhova O. A., Danilova I. L., Serebryakova O. A. Essential oils and their quality. Simferopol: *IT «AriaL»*, 2021, 212 p. DOI: https://doi.org/10.33952/2542-0720-978-5-907506-16-9

4. Jadid N., Widodo A. F., Ermavitalini D., Sa'adah N. N., Gunawan S., Nisa C. The medicinal Umbelliferae plant Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.): Cultivation, traditional uses, phytopharmacological properties, and application in animal husbandry. Arabian Journal of Chemistry. 2023;16(3):104541. DOI: https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104541

5. Zeeshan A., Akram H., Qasim S., Naseer A., Nazar F., Rafique O. The Healing Touch of Foeniculum vulgare Mill. (Fennel): A Review on Its Medicinal Value and Health Benefits. Journal of Health and Rehabilitation Research. 2023;3(2):793–800. DOI: https://doi.org/10.61919/jhrr.v3i2.22

6. Debnath S., Kumar H., Sharma A. Foeniculum vulgare Mill. from Spice to Pharma: Recent Advances in Its Medicinal Value, Bioactivities, and Perspectives. Traditional and Integrative Medicine. 2023;8(2):217–229.
DOI: https://doi.org/10.18502/tim.v8i2.13087

7. Ghasemian A., Al-Marzoqi A.-H., Mostafavi S. K. Sh., Alghanimi Ya. K., Teimour M. Chemical Composition and Antimicrobial and Cytotoxic Activities of Foeniculum vulgare Mill. Essential Oils. Journal of Gastrointestinal Cancer. 2020;51:260–266 DOI: https://doi.org/10.1007/s12029-019-00241-w

8. Khan R. U., Fatima A., Naz S., Ragni M., Tarricone S., Tufarelli V. Perspective, Opportunities and Challenges in Using Fennel (*Foeniculum vulgare*) in Poultry Health and Production as an Eco-Friendly Alternative to Antibiotics: A Review. Antibiotics. 2022;11(2):278. DOI: https://doi.org/10.3390/antibiotics11020278

9. Ostrenko K., Nevkrytaya N., Ovcharova A., Kutyin I., Koltsov K. Effect of Essential Oils of Coriander and Fennel on the Nonspecific Resistance of Dairy Calves. Agriculture Digitalization and Organic Production. 2023;362:171–179. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-99-4165-0_16

10. Volchenkov Yu. A. Effect of coriander and fennel essential oils on morphological and biochemical parameters of blood in pigs in the post-weaning period. *Biologiya v selskom khozyaystve* = Biology in agriculture. 2025;(1(46)):24–27. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80501721

11. Koltsov K. S., Ostrenko K. S., Ovcharova A. N., Kutin I. V. Effect of feed additivesof thevolatile oils from coriander and common fennel fruits on the idicators of immune status andgrowth rate in calves. *Problemi biologii produktivnikh zhivotnikh* = Problems of Productive Animal Biology. 2024;(2):73–79. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2024.2.73-79

12. Zolotilova O. M., Nevkritaya N. V., Korotkikh I. N., Anikina A. Yu. Environmental testing of Foeniculum vulgare Mill. of 'Mertsishor' cultivar. Current state, problems and prospects of agricultural science development: Proceedings of the VII International scientific and practical conference, Simferopol, October 3-7, 2022. Scientific editor V. S. Pashtetsky. Simferopol*: IT «ARIAL»*, 2022. pp. 108–110. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50355343

13. Perrino E. V., Valerio F., Gannouchi A., Trani A., Mezzapesa G. Ecological and Plant Community Implication on Essential Oils Composition in Useful Wild Officinal Species: A Pilot Case Study in Apulia (Italy). Plants. 2021;10(3):574. DOI: https://doi.org/10.3390/plants10030574

14. Dobreva A., Getchovska K., Nedeltcheva-Antonova D. A comparative study of Saudi Arabia and Bulgarian Rose oil chemical profile: The effect of the technology and geographic origin. Flavour Fragrance Journal. 2020;35(5):584–596. DOI: https://doi.org/10.1002/ffj.3601

Сведения об авторах

✉ **Невкрытая Наталья Владимировна,** кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник, зав. отделом селекции селекционно-семеноводческого центра эфиромасличных культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, д. 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295453, e-mail: priemnaya@niishk.site, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1783-2199**, e-mail: Nevkritaya@mail.ru

Дунаева Елена Николаевна, кандидат с.-х. наук, заместитель директора, Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», ул. Победы, д. 85, г. Белгород, Российская Федерация, 308015, e-mail: Info@bsuedu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9568-6065**

Золотилова Ольга Михайловна, научный сотрудник отдела семеноводства селекционно-семеноводческого центра эфиромасличных культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, д. 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295453, e-mail: priemnaya@niishk.site, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4949-7922**

Грунина Елена Николаевна, научный сотрудник отдела селекции селекционно-семеноводческого центра эфиромасличных культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, д. 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295453, e-mail: priemnaya@niishk.site, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1466-4057**

Кривда Светлана Ивановна, научный сотрудник отдела селекции селекционно-семеноводческого центра эфиромасличных культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, д. 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295453, e-mail: priemnaya@niishk.site, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1777-067X**

Кривчик Нина Сергеевна, научный сотрудник отдела селекции селекционно-семеноводческого центра эфиромасличных культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, д. 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295453, e-mail: priemnaya@niishk.site, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7829-3574**

Тохтарь Валерий Константинович, доктор биол. наук, директор, Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», ул. Победы, 85, г. Белгород, Российская Федерация, 308015, e-mail: Info@bsuedu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7417-4893**

Дунаев Александр Владимирович, кандидат с.-х. наук, преподаватель биологии и химии, ОГАПОУ «Белгородский техникум промышленности и сферы услуг», ул. Апанасенко, д. 51А, г. Белгород, Российская Федерация, 308036, e-mail: licey20@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9058-7778**

Information about the authors

✉ **Natalia V. Nevkrytaya,** PhD in Biological Science, leading researcher, Head of the Breeding Department, Breeding and Seed Center for Essential Oil Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, Kyiv St., 150, Simferopol, Russian Federation, 295453, e-mail: priemnaya@niishk.site, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1783-2199**, e-mail: Nevkritaya@mail.ru

Elena N. Dunaeva, PhD in Agricultural Science, Deputy Director of the Scientific and Educational Center «BelSU Botanical Garden», Belgorod State National Research University, 85 Pobedy Str., Belgorod, Russian Federation, 308015, e-mail: Info@bsuedu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9568-6065**

Olga M. Zolotilova, researcher, Seed Department, Breeding and Seed Center for Essential Oil Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, Kyiv St., 150, Simferopol, Russian Federation, 295453, e-mail: priemnaya@niishk.site, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4949-7922**

Elena N. Grunina, researcher, Breeding Department, Breeding and Seed Center for Essential Oil Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, Kyiv St., 150, Simferopol, Russian Federation, 295453, e-mail: priemnaya@niishk.site, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1466-4057**

Svetlana I. Krivda, researcher, Breeding Department, Breeding and Seed Center for Essential Oil Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, Kyiv St., 150, Simferopol, Russian Federation, 295453, e-mail: priemnaya@niishk.site, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1777-067X**

Nina S. Krivchik, researcher, Breeding Department, Breeding and Seed Center for Essential Oil Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, Kyiv St., 150, Simferopol, Russian Federation, 295453, e-mail: priemnaya@niishk.site, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7829-3574**

Valeriy K. Tokhtar, DSc in Biological Science, Director of the Scientific and Educational Center «BelSU Botanical Garden», Belgorod State National Research University, 85 Pobedy Str., Belgorod, Russian Federation, 308015, e-mail: Info@bsuedu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7417-4893**

Alexander V. Dunaev, PhD in Agricultural Science, lecturer in Biology and Chemistry, Belgorod College of Industry and Services, 51A Apanasenko str., Belgorod, Russian Federation, 308036, e-mail: licey20@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9058-7778**

✉ – Для контактов / Corresponding author

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.95–106
УДК 633.11«324»: 664.641.11

(cc) BY

Анализ реологических свойств сортов озимой мягкой пшеницы

© 2026. Я. О. Козелец[1]✉, И. О. Шестопалов[1], О. В. Акиншина[1], Г. И. Шестопалов[1], Д. В. Володин[1], Н. Н. Шестопалова[2], Л. С. Бондаренко[1], А. В. Петренко[1], А. П. Ащеулова[1]
[1]*ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», г. Белгород, Российская Федерация,*
[2]*ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород, Российская Федерация*

В работе представлено количественное измерение и вариабельность шести нетрадиционных показателей качества зерна 10 сортов озимой мягкой пшеницы урожая 2021-2022 гг., полученных в ходе испытаний с использованием теста в политермальном режиме протокола Chopin+ на приборе Миксолаб. Результаты исследования показали, что более низкие температуры и дефицит осадков в июле 2022 г. (44,0 мм при норме 69,0 мм) привели к достоверному (p<0,05) увеличению средней вязкости теста до 5,9 балла против 4,2 балла в 2021 году, а также к существенному снижению амилолитической активности (с 4,4 до 1,0 балла) и уровня ретроградации крахмала (с 5,6 до 3,3 балла), что отражает прямую зависимость этих показателей от гидротермического режима в критический период налива зерна. Статистический анализ данных, проведенный методом дисперсионного анализа с использованием программы NIRSMAIN, позволил выявить различия в реологических свойствах теста в зависимости от сорта пшеницы и условий вегетации. Исследованы реологические свойства теста, такие как водопоглотительная способность (ВПС), стабильность теста при замесе, вязкость, активность амилазы и ретроградация крахмала. Показано, что отдельные сорта, такие как Сирена, Везёлка, Корочанка и Лариса, обладают высокими показателями ВПС и стабильности теста, что делает их перспективными для использования в качестве улучшителей в смесях с менее качественными сортами пшеницы. Особое внимание уделено оценке реологических свойств теста в различных температурных диапазонах, что позволяет выявить наилучшую пригодность сортов для конкретных этапов технологической обработки. Сорта Альмера и Ариадна демонстрируют высокую устойчивость к черствению благодаря значительным показателям ретроградации крахмала. Характеристики различных сортов пшеницы проявляются в их технологических свойствах. Заречная и Альмера обладают высоким индексом глютена. Данный факт указывает на улучшение таких параметров белковой структуры, как эластичность и стабильность. Ольшанка проявляет низкий крутящий момент в точке C5, что свидетельствует о склонности к ускоренному черствению. Сорта Синтетик и Сирена показали низкие значения крутящего момента в точке C2, указывающие на потенциальные ограничения для достижения максимального объема хлеба. Полученные результаты позволяют рекомендовать сорта Сирена, Везёлка, Корочанка и Лариса в качестве эффективных улучшителей для смесей благодаря оптимальному сочетанию водопоглощения и стабильности теста, а Альмеру и Ариадну – как наиболее перспективные для производства продукции с пролонгированным сроком хранения.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., *состояние и поведение теста, метеорологические условия, качество шрота, Миксолаб*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук» (тема № FGNF-2022-0001).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Козелец Я. О., Шестопалов И. О., Акиншина О. В., Шестопалов Г. И., Володин Д. В., Шестопалова Н. Н., Бондаренко Л. С., Петренко А. В., Ащеулова А. П. Анализ реологических свойств сортов озимой мягкой пшеницы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):95–106. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.95-106

Поступила: 02.06.2025 Принята к публикации: 28.01.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Analysis of rheological properties of common winter wheat cultivars

© 2026. Yana O. Kozelets[1]✉, Igor O. Shestopalov[1], Olga V. Akinshina[1], Georgy I. Shestopalov[1], Dmitry V. Volodin[1], Natalia N. Shestopalova[2], Lyudmila S. Bondarenko[1], Alexander V. Petrenko[1], Anna P. Ashcheulova[1]

[1]*Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, Belgorod, Russian Federation,*

[2]*Belgorod National Research University, Belgorod, Russian Federation*

The paper presents the quantitative measurement and variability of six non-traditional grain quality indicators of 10 cultivars of common winter wheat harvested in 2021-2022, obtained during tests using the Chopin+ protocol in the polythermal mode on the Mixolab device. The results of the study showed that lower temperatures and a lack of precipitation in July 2022 (44.0 mm with a norm of 69.0 mm) led to a significant ($p<0.05$) increase in the average viscosity of the dough to 5.9 points versus 4.2 points in 2021, as well as a significant decrease in amylolytic activity (from 4.4 to 1.0 points) and the level of starch retrogradation (from 5.6 to 3.3 points), which reflects the direct dependence of these indicators on the hydrothermal regime during the critical period of grain filling. Statistical analysis of the data using the NIRSMAIN program and the method of variance analysis revealed differences in the rheological properties of the dough depending on the wheat cultivar and growing conditions. Rheological properties of the dough, such as water absorption capacity (WAC), dough stability during kneading, viscosity, amylase activity and starch retrogradation, were investigated. It has been shown that some cultivars, such as 'Sirena', 'Vezelka', 'Korochanka' and 'Larisa', have high indicators of water absorption capacity and dough stability, which makes them promising for use as improvers in mixtures with lower quality wheat cultivars. Particular attention is paid to the assessment of the rheological properties of the dough in different temperature ranges, which makes it possible to identify the best suitability of varieties for specific stages of technological processing. 'Almera' and 'Ariadna' cultivars demonstrate high resistance to staling due to significant starch retrogradation. The characteristics of different wheat cultivars are manifested in their technological properties. 'Zarechnaya' and 'Almera' have a high gluten index. This fact indicates an improvement in the protein structure's parameters, such as elasticity and stability. 'Olshanka' exhibits a low torque at C5, indicating a tendency towards accelerated hardening. The 'Sintetik' and 'Sirena' cultivars showed low torque values at C2 point, indicating potential limitations in achieving maximum bread volume. The obtained results make it possible to recommend the 'Sirena', 'Vezelka', 'Korochanka', and 'Larisa' cultivars as effective improvers for mixtures due to their optimal combination of water absorption and dough stability, and 'Almera' and 'Ariadna' as the most promising cultivars for the production of products with extended shelf life.

Keywords: *Triticum aestivum* L., *dough condition and behavior, meteorological conditions, the quality of meal, Mixolab*

***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 Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences (theme No. FGNF-2022-0001).

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

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

For citation: Kozelets Y. O., Shestopalov I. O., Akinshina O. V., Shestopalov G. I., Volodin D. V., Shestopalova N. N., Bondarenko L. S., Petrenko A. V., Ascheulova A. P. Analysis of rheological properties of common winter wheat cultivars. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):95–106. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.95-106

Received: 02.06.2025 Accepted for publication: 28.01.2026 Published online: 27.02.2026

Параметры качества зерна подвержены колебаниям, обусловленным целевым назначением продукта. Данная концепция акцентирует внимание на степени соответствия характеристик зерна предполагаемой сфере его использования. Качество зерна представляет собой комплекс взаимосвязанных технологических, биохимических, хлебопекарных и пищевых показателей, оказывающих непосредственное влияние на экономическую привлекательность конкретного сорта [1]. Следует отметить, что интегральная оценка качества не может быть сведена к единственному параметру; она формируется на основе множества факторов, детерминирующих физические, структурно-механические, мукомольные и хлебопекарные свойства [2, 3]. Зерно, прошедшее всестороннюю оценку с учетом вышеуказанных аспектов, дифференцируется по ценовым категориям и областям применения, что свидетельствует о многогранности его качественных характеристик.

Важнейшими детерминантами качества зерна выступают генетические особенности сорта, агротехнические условия культивирования, погодно-климатические факторы периода вегетации, а также условия послеуборочной обработки и хранения [4]. Генетический потенциал сорта определяет базовый уровень содержания белка, крахмала и других компонентов, однако его реализация в значительной степени зависит от внешних условий. Агротехнические приемы, такие как внесение удобрений и применение средств защиты растений, существенно влияют на формирование качественных показателей зерна [5]. Погодные условия, особенно температура и влажность в период

налива зерна, оказывают прямое воздействие на его структуру и состав [6]. Высокие температуры могут приводить к снижению содержания крахмала и ухудшению хлебопекарных свойств, а избыточная влажность способствует развитию плесени и накоплению микотоксинов [7].

В условиях прогресса современной науки и лабораторного контроля качества первостепенное значение имеет анализ дисперсных систем, таких как шрот (продукт тонкого помола зерна), мука, суспензии и тесто. В процессе изучения акцент делается на индивидуальные характеристики компонентов зерновых и мучных изделий, включая крахмальные полисахариды, белковые соединения и ферментативные системы [8, 9]. Однако такие компоненты, как пищевые волокна (клетчатка), липидные соединения и другие минорные вещества, зачастую не подвергаются детальному изучению. Это связано с трудоёмкостью и длительностью методов анализа, необходимых для их идентификации и количественного определения, что требует значительных затрат химических реагентов и применения специализированного оборудования для проведения лабораторных исследований [10].

В хлебопекарной отрасли для всестороннего анализа тестовых образцов ключевое значение имеет отслеживание реологических параметров [11]. Данный мониторинг необходим, так как именно реологические характеристики, такие как текстура, объем и структура пористости хлеба и прочих мучных изделий, предопределяют качество конечного продукта. Несоответствие этих показателей оптимальным значениям может приводить к дефектам структуры, ухудшению вкусовых качеств и сокращению сроков хранения [12].

Для анализа реологических характеристик теста с целью определения качества зерна и муки в современной практике используется обширный спектр специализированных приборов, включая альвеографы, фариографы, валориграфы, экстенсографы, миксографы, амилографы и другие [13]. Несмотря на это, существующие приборы оценивают реологические свойства теста лишь на стадии готовой мучной продукции, что ограничивает возможность анализа хлебопекарных качеств пшеницы на ранних этапах переработки зерна. Это подчеркивает актуальность изучения возможности прогнозирования хлебопекарных свойств пшеницы на основе реологических характеристик теста, измеряемых инструментальными методами непосредственно при приемке зерна на мукомольном предприятии. Подобный подход позволит оптимизировать процессы подготовки зерна к помолу и повысить качество конечной продукции.

В последние годы появились инновационные устройства, способные оценивать хлебопекарные характеристики не только муки, но и интактного зерна. Примером такого оборудования является прибор Миксолаб (производство компании Chopin, Франция), который предоставляет возможность комплексной оценки качества зерна и муки на различных этапах технологического процесса [14, 15].

Цель исследования – изучить реологические параметры образцов теста, произведенных из шрота сортов мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», принимая во внимание погодные условия периодов вегетации.

Научная новизна – впервые проводится определение реологических свойств тестовых образцов, произведенных из шрота инновационных сортов мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», районированных по Центрально-Черноземному региону (5-й регион). Устанавливается взаимосвязь между указанными реологическими характеристиками и метеорологическими показателями в период вегетации. Данный анализ дает возможность идентифицировать оптимальные условия культивирования рассматриваемых сортов с целью улучшения качественных показателей сырья и повышения эффективности процессов переработки зерна.

Материалы и методы. Объектом исследования служил шрот мягкой озимой пшеницы сортов Альмера, Ариадна, Богданка, Везёлка, Синтетик, Корочанка, Сирена, Заречная, Лариса и Ольшанка урожая 2021 и 2022 гг.

Сорта возделывали в полевых условиях. Почвы – типичные среднемощные малогумусные тяжелосуглинистые черноземы на лессовидном суглинке с содержанием гумуса 4,7–5,6 %, подвижного фосфора и обменного калия – 67–78 и 88–112 мг/кг почвы соответственно; $pH_{сол.}$ – 5,8–6,3. Осенью под предпосевную обработку вносили по 200 кг/га азофоски, весной – аммиачную селитру в подкормку 250 кг/га. Данные по температурному режиму и влагообеспеченности получены на метеорологической станции ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», находящейся непосредственно на территории селекционных участков.

Определение реологических характеристик проводили с применением анализатора Миксолаб производства компании Chopin Technologies (Франция). В рамках исследования цельносмолотого зерна мягкой озимой пшеницы применяли протокол Chopin Wheat+, предусматривающий пятиступенчатый температурный режим для проведения анализа. Крутящий момент, измеренный в определенных точках графика, может быть интерпретирован как результат взаимодействия различных биохимических факторов. Для статистической обработки данных методом дисперсионного анализа использовали программу NIRSMAIN.

Результаты и их обсуждение. Общепризнано, что объем выпадающих атмосферных осадков в фазы формирования, налива и созревания зерна оказывает определяющее воздействие на его качественные характеристики. В связи с этим систематический мониторинг реакции различных сортов зерновых культур на флуктуации метеорологических условий в течение вегетационного периода представляется критически важным [16]. Данный мониторинг позволяет оценить адаптивность сортов к изменяющимся условиям окружающей среды и выявить наиболее устойчивые генотипы [17]. Оценка влияния влагообеспеченности на качество зерна включает анализ таких показателей, как содержание белка, крахмала, клейковины и натуру зерна [18]. Погодные условия в течение вегетационного периода исследований мягкой озимой пшеницы варьировали по годам (рис. 1 и 2).

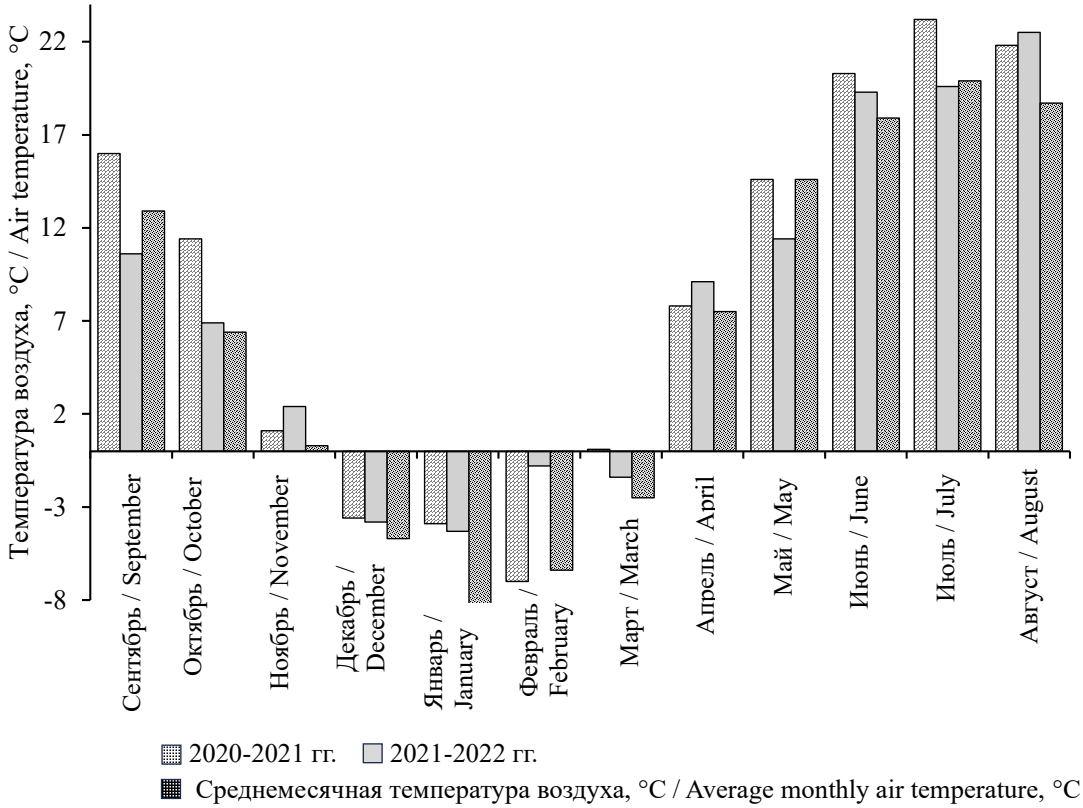


Рис. 1. **Температурный режим в период вегетации озимой мягкой пшеницы за 2020–2022 гг. /**
Fig. 1. **Temperature conditions during the growing season of winter soft wheat in 2020–2022**

В весенний период 2021 г. температура во время вегетации мягкой озимой пшеницы показала незначительное превышение оптимальных значений: в апреле на 0,3 °С, а в мае температура соответствовала норме. Отмечается, что в марте наблюдалась аномально теплая погода, превышающая средние многолетние значения на 2,6 °С. Примечательно, что летний период 2021 г. (июнь – август) также характеризовался превышением климатических норм температуры. В частности, среднемесячные температуры в июне и июле отклонялись от средних многолетних значений в бóльшую сторону на 2,4 и 3,3 °С соответственно.

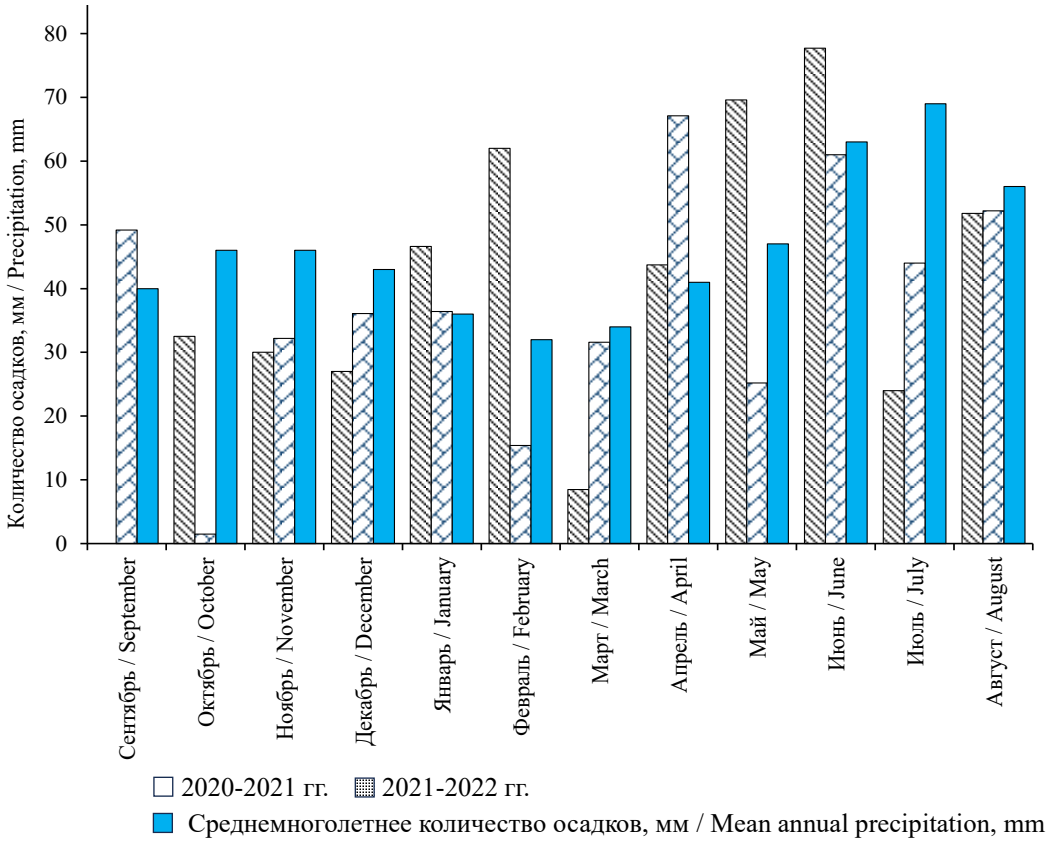


Рис. 2. **Влагообеспеченность мягкой озимой пшеницы в период вегетации за 2020–2022 гг. /**
Fig. 2. **Moisture supply of common winter wheat during the growing season of 2020–2022**

При анализе уровня осадков за 2020-2021 гг. можно выделить некоторые ключевые моменты. Выяснено, что дожди в тёплый сезон (июнь и июль) значительно влияют на качество. В мае 2021 г. наблюдались аномально высокие показатели атмосферных осадков, зафиксированные на уровне 69,6 мм. Данное значение превышает среднюю многолетнюю норму для указанного месяца в 1,5 раза. В отличие от майских показателей, объем выпавших осадков в июне 2021 г. демонстрировал значения, сопоставимые со среднестатистическими данными за многолетний период наблюдений. Однако ситуация в июле отличалась: за месяц выпало лишь 24,0 мм осадков, что составляет всего одну треть от ожидаемой нормы. Это может свидетельствовать о возможных изменениях в климатических условиях и воздействии на экосистему региона.

Осень 2021 г. была неоднозначной. В сентябре наблюдали температуру ниже средних многолетних значений, при этом осадки составили 49,2 мм, что на 9,2 мм больше нормы. Октябрь выдался сухим (1,5 мм осадков), а температура не достигла среднемноголетнего уровня. В весенний период 2022 г. отмечены отличия в температурном режиме и осадках от среднемесячных значений. В марте температура понизилась, осадки оставались на уровне средних, что задерживало начало весенней вегетации. Апрель 2022 г. продемонстрировал превышение норм по осадкам и температуре: выпало 67,1 мм при температуре +9,1 °С. Погодные условия мая характризовались аномально низкими температурами и дефицитом осадков, объем которых составил 25,2 мм при среднем многолетнем значении 47,0 мм. Летний сезон характеризовался пониженными температурными показателями относительно климатической нормы. За исключением эпизодического выпадения 30 мм осадков 12 июня, среднесуточные температуры не превышали отметку +26 °С. Данный температурный режим благоприятно сказался на вегетации озимых культур. Однако в июле отмечен значительный дефицит влаги, общее количество выпавших осадков составило 44,0 мм при среднем многолетнем значении 69,0 мм. Полученные результаты указывают на отклонения от климатической нормы, что потенциально может

оказать влияние на агрономические показатели и урожайность сельскохозяйственных культур.

Данные, зафиксированные при анализе на приборе Миксолаб, визуализируются в виде профиля, который представляет собой шестиосевую диаграмму, в которой каждая ось соотносится с определенным параметром качественных свойств. Численные значения для каждой точки кривой оценивали в пределах от 0 до 9 единиц [19]. Сравнительные данные исследуемых образцов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – **Средние показатели реологических свойств шрота сортов мягкой озимой пшеницы, балл (n = 10) /** *Table 1* – **Average values of meal rheological properties of common winter wheat cultivars, points (n = 10)**

Год / Year	*Водопоглотительная способность / Water absorption capacity*	*Замес / Kneading*	*Глютен / Gluten*	*Вязкость / Viscosity*	*Амилаза/ Amylase*	*Ретроградация / Retrogradation*
2021	8,10±0,10	4,20±0,39	2,70±0,42	4,20±0,47	4,40±0,99	5,60±0,71
2022	8,10±0,10	3,50±0,27	3,50±0,31	5,90±0,48	1,00±0,15	3,30±0,52
$t_{факт}$	0	1,48	-1,53	**-2,53***	**3,39***	**2,6***
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,33	1,09	1,21	1,55	2,31	2,04

* Различия существенны при p>0,95 / *The differences are significant at p>0.95.

Анализ реологических свойств сортов мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» позволяет классифицировать их по периоду формирования теста. Среди изучаемых образцов особое внимание заслуживают Сирена, Везёлка, Корочанка и Лариса.

Известно, что уровень увлажнения муки оказывает влияние на весь процесс выпечки, особенно на физико-механические свойства теста [20].

Качественные характеристики муки, такие как ее водопоглотительная способность, имеют прямое влияние на массу теста и итоговый результат выпечки. Чем выше данный показатель, тем лучше происходит процесс желатинизации, что способствует большему подъему теста во время выпекания и снижению сгущения крахмала. Значительные показатели данного индекса обусловливают возможность увеличения выхода теста при одновременном снижении расхода муки. Вариации между рассматриваемыми группами не демонстрировали статистической значимости и оставались в границах приемлемой ошибки опыта. Примечательно, что все анализируемые сорта продемонстрировали повышенные значения водопоглотительной способности (ВПС) на протяжении всего периода исследований.

Индекс «замес» отражает термическую устойчивость теста при температуре +30 °С. Его величина определяется поведением теста в процессе смешивания, в частности, его стабильностью. Длительное время формирования теста в сочетании с высокой стабильностью свидетельствуют о его превосходном качестве. Увеличение индекса замеса коррелирует с повышением устойчивости теста к механическому воздействию во время замешивания. В 2021 г. наивысшие значения указанного параметра были зафиксированы у сортов: Сирена, Ольшанка, Везёлка и Ариадна, которые получили оценку 5 баллов.

При нагревании теста в диапазоне температур от +30 до +60 °С наблюдается процесс набухания крахмала, при этом молекулярная структура остается неизменной. Это приводит к снижению консистенции теста. Чем выше данный параметр, тем большей устойчивостью обладает белковая структура. В результате такое тесто становится более эластичным. В 2021 и 2022 гг. сорта Заречная и Альмера демонстрировали наивысшие значения индекса «глютен», находящиеся в диапазоне 4-5 баллов.

На протяжении периода исследований зафиксированы существенные колебания характеристик, ассоциирующихся с углеводным составом, а именно: вязкости, амилолитической активности и ретроградации крахмала. Данные различия могут быть обусловлены влиянием агроклиматических условий в разные годы, оказывающих воздействие на биохимические процессы в зерне. Примером выступают показатели высоких температур и влажности воздуха в период вегетации 2020-2021 гг., превышающие среднемноголетние нормы.

Особое внимание стоит уделить сортам Ольшанка, Заречная и Сирена, которые продемонстрировали наименьшие результаты по указанным параметрам. Из всех сортов по показателю «ретроградация крахмала» (сопротивляемость черствению) наибольший индекс показал сорт Ариадна (8 баллов).

При температурном диапазоне от +30 до +60 °С протеолитические ферменты функционируют наиболее эффективно, что приводит к разложению клейковинных белков и уплотнению теста. Этот процесс отражается на показателе крутящего момента теста в точке C_2 (Н·м). Сорта Синтетик и Сирена в оба года исследования и Ольшанка в 2021 г. показали низкие результаты по этому параметру и обладали меньшим потенциалом для достижения высокого объёмного выхода хлеба (табл. 2).

Таблица 2 – **Параметры крутящего момента в точках экстремума функции /**
Table 2 – **Torque parameters at the extremum points of the function**

Сорт / Cultivar	*C_2, Н·м*		*C_5, Н·м*	
	2021 г.	*2022 г.*	*2021 г.*	*2022 г.*
Альмера / ‘Almera’	0,44	0,47	2,81	1,89
Ариадна / ‘Ariadna’	0,40	0,47	2,32	2,46
Богданка / ‘Bogdanka’	0,44	0,50	2,44	1,41
Везёлка / ‘Vezelka’	0,43	0,47	2,26	1,74
Синтетик / ‘Syntetic’	0,37	0,42	2,14	1,57
Корочанка / ‘Korochanka’	0,44	0,44	2,03	0,55
Сирена / ‘Sirena’	0,42	0,42	1,32	1,44
Заречная / ‘Zarechnaya’	0,35	0,37	1,82	0,80
Лариса / ‘Larisa’	0,42	0,44	2,42	1,06
Ольшанка / ‘Olshanka’	0,39	0,44	0,92	0,91
Среднее±ошибка средней / Mean±mean error	0,41±0,01	0,44±0,01	2,05±0,18	1,38±0,18
$t_{факт}$ / t_{fact}	**-2,23***		**2,62***	
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,04		0,59	

Примечания: * Различия существенны при p>0,95; C_2 – индекс «глютен»; C_5 – индекс «ретроградация» /
Notes: *The differences are significant at p>0.95; C_2 – *gluten* index; C_5 – *retrograde* index

Тенденция к возврату крахмала в исходное состояние при снижении температуры отражается величиной крутящего момента, зафиксированного в точке C_5. Этот параметр служит индикатором скорости очерствения хлебобулочной продукции. Наивысшие значения крутящего момента C_5 были зарегистрированы у сортов Альмера (2021 г.) и Ариадна (2022 г.), что свидетельствует о замедленном процессе очерствения. Сорт Ольшанка продемонстрировал наименьшие значения крутящего момента C_5 как в 2021, так и в 2022 гг., что указывает на его подверженность быстрому очерствению.

При температурах от +90 °С и выше превалируют процессы гелеобразования, самопроизвольного распада веществ и превращения крахмала в желатинообразное состояние (табл. 3). Величины крутящего момента в точках C_3, C_4 и C_5 отражают характеристики углеводно-амилазного комплекса исследуемой системы и изменения, происходящие в его рамках.

В процессе нагрева максимальный крутящий момент для C_3 в среднем за 2 года исследований достиг 1,81 Н·м. В 2021 г. этот предел зафиксирован у сорта Лариса, а в 2022 г. – у Ариадна и Альмера. Эти данные указывают на то, что у названных сортов наблюдается более высокая температура желатинизации крахмала, что связано с увеличенной вязкостью теста, следовательно, в процессе выпечки хлеба они будут формировать мелкопористую структуру мякиша.

Таблица 3 – **Результаты оценки показателей качества шрота мягкой озимой пшеницы урожая 2021-2022 гг. /** *Table 3* – **Results of the assessment of the quality indicators of the common winter wheat meal, yield of 2021-2022**

Сорт / Cultivar	*C_3, Н·м*		*C_4, Н·м*		*C_5, Н·м*	
	2021 г.	*2022 г.*	*2021 г.*	*2022 г.*	*2021 г.*	*2022 г.*
Альмера / 'Almera'	1,85	2,00	1,73	1,18	2,81	1,89
Ариадна / 'Ariadna'	1,73	2,07	1,47	1,44	2,32	2,46
Богданка / 'Bogdanka'	1,80	1,89	1,69	0,81	2,44	1,41
Везёлка / 'Vezelka'	1,83	1,97	1,32	0,92	2,26	1,74
Синтетик / 'Syntetic'	1,76	1,89	1,41	0,98	2,14	1,57
Корочанка / 'Korochanka'	1,76	1,79	1,30	0,34	2,03	0,55
Сирена / 'Sirena'	1,72	1,80	0,76	0,90	1,32	1,44
Заречная / 'Zarechnaya'	1,60	1,66	1,32	0,56	1,82	0,80
Лариса / 'Larisa'	1,86	1,87	1,41	0,68	2,42	1,06
Ольшанка / 'Olshanka'	1,49	1,86	0,56	0,51	0,92	0,91
Среднее ± ошибка средней / Mean ± mean error	1,74±0,04	1,88±0,04	1,30±0,12	0,83±0,10	2,05±0,18	1,38±0,18
$t_{факт}$ / t_{fact}	**-2,69***		**2,98***		**2,62***	
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,12		0,36		0,59	

Примечания: * Различия существенны при p>0,95; C_3 – индекс «*вязкость*»; C_4 – индекс «*амилаза*»; C_5 – индекс «*ретроградация*» /
Notes: * The differences are significant at p>0.95; C_3 – index *viscosity*; C_4 – *amylase* index; C_5 – *retrograde* index

Активность амилолитических ферментов обычно достигает оптимума при температуре от +60 до +75 °С. В процессе гидролиза крахмала наблюдали изменение консистенции теста, что сопровождается снижением его вязкости (показатель C_4, табл. 3). Это явление было зафиксировано у всех исследованных сортов, однако не во всех образцах оно проявляется одинаково. Сортами с высокой амилолитической активностью являются Ариадна, Альмера и Богданка. Если значение C_4 для определенного сортообразца превышает C_3 в абсолютном выражении, это указывает на низкий уровень амилолитической активности, что свойственно таким зерновым культурам, как пшеница. Высокие показатели C_4 у сортов Альмера, Ариадна и Богданка свидетельствуют об их ограниченной ферментативной активности.

Следующий этап эксперимента включает охлаждение системы с +90 до +50 °С и измерение вязкости в течение 5 минут. В этот период происходит загустевание крахмала, что приводит к значительному увеличению вязкости теста. В данной стадии исследования мы зафиксировали показатель C_5. По этому критерию наиболее перспективными являются сорта Ариадна, Альмера и Везёлка, исключение составляет Ольшанка.

Заключение. Проведенное исследование реологических свойств теста из шрота десяти сортов озимой мягкой пшеницы урожая 2021 и 2022 гг. позволило установить статистически значимое влияние метеорологических условий вегетации на формирование технологических качеств зерна. Рекордное количество осадков в мае 2021 г. (69,6 мм) и дефицит осадков в июле 2021 г. (24,0 мм) повлияли на реологические свойства озимой мягкой пшеницы.

Особенностью большинства исследованных сортов стало наличие высоких значений водопоглотительной способности (ВПС) в оба года изучения, что обеспечивает хороший подъем теста при выпечке хлеба. В частности, выделились сорта Корочанка (9 баллов в 2021 г.) и Синтетик (9 баллов в 2022 г.).

Отмечены существенные вариации между исследуемыми сортами по параметру замеса. Наиболее высокую стабильность теста при замешивании в 2021 г. показали сорта Альмера, Ариадна, Везёлка, Сирена и Ольшанка. Сорт Синтетик, напротив, продемонстрировал менее выраженные показатели по данному критерию в течение всего периода исследования.

Наибольшие значения индекса «глютен» показали сорта Заречная и Альмера как в 2021 г., так и в 2022 г. Это указывает на их эластичность и устойчивость белковой структуры.

Существенные вариации были зарегистрированы в характеристиках, определяемых углеводным составом, включая вязкость, активность амилаз и степень ретроградации крахмала. Были выявлены значительные расхождения между различными сортами пшеницы по параметру «вязкость». В 2022 г. сорта Альмера и Ариадна показали максимальные значения вязкости, в то время как Корочанка и Заречная характеризовались существенно более низкими показателями. Сорт Ольшанка в течение двух лет исследования демонстрировал низкую устойчивость к ретроградации крахмала, оцененную в 2 балла, что потенциально сокращает срок хранения хлебобулочной продукции, произведенной из данного сорта. В контраст, сорт Ариадна в тот же период показал максимальную устойчивость к ретроградации, соответствующую 8 баллам. Ключевыми для хлебопекарного использования стали параметры крутящего момента: высокие значения в точке C_5 у сортов Ариадна (2,46 Н·м в 2022 г.) и Альмера (2,81 Н·м в 2021 г.) указывают на их повышенную устойчивость к черствению, тогда как минимальные показатели C_5 у Ольшанки (0,91 и 0,92 Н·м в 2021 и 2022 гг.) сигнализируют о предрасположенности к ускоренной утрате органолептических характеристик. Низкие значения параметра крутящего момента, зафиксированные в точке C_2 у сортов Синтетик (0,37 и 0,42 Н·м, измерения 2021 и 2022 гг. соответственно) и Сирена (0,42 Н·м в оба года исследования), указывают на ограничение потенциала для достижения оптимального показателя объема хлеба. Низкий крутящий момент индекса «глютен» может сигнализировать о слабой структуре клейковины, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на объеме хлеба.

Исследование реологических характеристик сортов мягкой озимой пшеницы урожая 2021-2022 гг. выявило значительную вариативность значений индексов. Наиболее высокие показатели качества были отмечены у сортов Сирена, Везёлка, Корочанка и Лариса. Данный факт позволяет сделать вывод о том, что вышеуказанные сорта мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» характеризуются повышенным качеством по сравнению с принятым стандартом (сорт Альмера). К сожалению, в период исследования сорта Альмера, Корочанка, Сирена, относящиеся к ценным пшеницам, имели низкое качество зерна.

Список литературы

1. Калабина Т. С., Елисеев С. Л., Яркова Н. Н. Урожайность, технологические показатели качества зерна и хлебопекарные свойства муки озимой пшеницы. Пермский аграрный вестник. 2020;(4(32)):41–49. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2020_32_41 EDN: AVXPDF

2. Хмелева Е. В., Королев Д. Н., Мингалеева З. Ш., Маслов А. В. Оценка технологического достоинства для хлебопекарной отрасли нового сорта зерна пшеницы Синева. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2024;(1(84)):67–75. DOI: https://doi.org/10.33979/2219-8466-2023-84-1-67-75 EDN: KCHIQN

3. Хмелева Е. В., Кандроков Р. Х., Сидоренко В. С., Королев Д. Н., Хмелев И. А. Оценка мукомольных свойств перспективных сортов озимой пшеницы селекции ФНЦ зернобобовых и крупяных культур. Зернобобовые и крупяные культуры. 2025;(2(54)):125–132. DOI: https://doi.org/10.24412/2309-348X-2025-2-125-132 EDN: VZPSDC

4. Мальцева Л. Т., Филиппова Е. А., Банникова Н. Ю., Ефимова А. Г., Пушкарева О. В. Селекция озимой пшеницы в условиях Зауралья. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2025;(3(76)):117–126.Режим доступа: https://vestngau.elpub.ru/jour/article/view/2650 EDN: PPLUWU

5.Оганян Л. Р., Ерошенко Ф. В. Влияние агротехнических приемов на урожайность и качество зерна различных сортов озимой пшеницы. Сельскохозяйственный журнал. 2025;(4(18)):57–67. DOI: https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/006.4.18.2025 EDN: UZPOKO

6. Сухоруков А. А., Бугакова Н. Э. Адаптивный потенциал сортов пшеницы мягкой озимой по реологическим и хлебопекарным свойствам теста и качеству хлеба в Среднем Поволжье. Достижения науки и техники АПК. 2022;36(10):28–32. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_10_28 EDN: UUOISA

7. Моисеенко А. Г., Мартиросян В. В., Тюрина О. Е., Костюченко М. Н. Повышение микробиологической безопасности мультизерновых хлебобулочных изделий. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2023;(2-3(392)):18–24. DOI: https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.2-3.3 EDN: ORUQQD

8. Крадецкая О. О., Чилимова И. В., Дашкевич С. М., Утебаев М. У., Каиржанов Е. К. Взаимосвязь цветовых различий муки и зерна с зольностью и силой муки различных сортов мягкой пшеницы. Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2022;2-1(113):24–34. DOI: https://doi.org/10.51452/kazatu.2022.2(113).951 EDN: MBVZSY

9. Marjanović-Balaban Ž., Cvjetković V. G., Grujić R. Gliadin proteins from wheat flour: the optimal determination conditions by ELISA. Foods and Raw Materials. 2021;9(2):364–370.
DOI: https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-364-370

10. Никонорова Ю. Ю., Волкова А. В., Макушин А. Н. Исследование реологических свойств теста и хлеба из смеси муки пшеничной высшего сорта и сорговой муки. Вестник КрасГАУ. 2021;(4(169)):155–160. DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-155-160 EDN: KLZUDU

11. Hoang T. N., Kopecký M., Konvalina P. Winter wheat mixtures influence grain rheological and mixolab quality. Journal of Applied Life Sciences and Environment. 2022;LIV(4):417–428.
DOI: https://doi.org/10.46909/journalalse-2021-036

12. Лящева С. В., Кулеватова Т. Б., Злобина Л. Н., Сергеева А. И. Оценка параметров экологической адаптивности озимой мягкой пшеницы по индексам реологических свойств теста и урожайности. Зернобобовые и крупяные культуры. 2024;(2(50)):102–109. DOI: https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-2-102-109 EDN: RUPFUZ

13. Кравченко Н. С., Марченко Д. М., Некрасова О. А., Алты-Садых Ю. Н. Изучение реологических и физических свойств теста сортов озимой пшеницы. Зерновое хозяйство России. 2021;(6):45–52.
DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-45-52 EDN: HFOOIQ

14. Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г. Методы определения качества клейковины и оценки реологических свойств твердой пшеницы (обзор). Достижения науки и техники АПК. 2023;37(11):29–37.
DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_11_29 EDN: GHZBGD

15. Мелешкина Е. П., Коломиец С. Н., Жильцова Н. С., Бундина О. И. Современная оценка хлебопекарных свойств российской пшеницы. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021;83(1):155–162. DOI: https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-155-162 EDN: AMNYBR

16. Коба В. П., Коренькова О. О. Погодные условия и динамика урожайности зерновых культур в Крыму. Наука Юга России. 2021;17(4):53–60. DOI: https://doi.org/10.7868/S25000640210406 EDN: XUKJVK

17. Дубинкина Е. А., Беляев Н. Н. Потенциал сортов озимой мягкой пшеницы в условиях Центрального Черноземья. Зернобобовые и крупяные культуры. 2021;(1(37)):105–111.
DOI: https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-1-105-111 EDN: ZLQXRB

18. Хрипунов А. И., Годунова Е. И., Тарадина Д. А., Общия Е. Н. Формирование урожая и качества зерна озимой пшеницы по полупару в различных условиях увлажнения и питания. Сельскохозяйственный журнал. 2025;(1(18)):69–80. DOI: https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/006.1.18.2025 EDN: WVHRNY

19. Bartalné-Berceli M., Izsó E., Gergely S., Salgó A. Effects of special additives in wheat dough system measured by Mixolab technique. Czech Journal of Food Sciences. 2021;39(6):460–468.
DOI: https://doi.org/10.17221/228/2020-CJFS

20. Нецветаев В. П. Роль наследственности и среды в формировании некоторых количественных признаков озимой мягкой пшеницы. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2025;(1):62–71. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=82111820 EDN: SBUFXQ

References

1. Kalabina T. S., Eliseev S. L., Yarkova N. N. Yield capacity, technological parameters of grain quality and baking properties of winter wheat flour. *Permsky agrarny vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2020;(4(32)):41–49. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2020_32_41

2. Khmeleva E. V., Korolev D. N., Mingaleeva Z. Sh., Maslov A. V. Assessment of technological advantages for the bakery industry of a new grade of wheat grain Sineva. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnikh pishchevikh produktov*. 2024;(1(84)):67–75. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33979/2219-8466-2023-84-1-67-75

3. Khmeleva E. V., Kandrokov R. Kh., Sidorenko V. S., Korolev D. N., Khmelev I. A. Evaluation of flour-milling properties of promising winter wheat varieties breeding by Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops. *Zernobobovie i krupyanie kulturi* = Legumes and Groat Crops. 2025;(2(54)):125–132. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2309-348X-2025-2-125-132

4. Maltseva L. T., Filippova E. A., Bannikova N. Y., Yefimova A. G., Pushkareva O. V. Breeding of winter wheat for the conditions of the Trans-Urals. *Vestnik NGAU (Novosibirsky gosudarstvenny agrarny universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2025;(3):117–126. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2025-76-3-117-126

5.Oganyan L. R., Eroshenko F. V. Effect of agricultural practices on the yield and grain quality of various winter wheat varieties. *Selskokhozyaystvenny zhurnal*. 2025;(4(18)):57–67. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/006.4.18.2025

6. Sukhorukov A. A., Bugakova N. E. Adaptive potential of soft winter wheat varieties in terms of rheological and baking properties of dough and quality of bread in the Middle Volga region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2022;36(10):28–32. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_10_28

7. Moiseenko A. G., Martirosyan V. V., Tyurina O. E., Kostyuchenko M. N. Improving the microbiological safety of multigrain bakery products. *Izvestiya visshikh uchebnikh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya* = Izvestiya vuzov. Food Technology. 2023;(2-3(392)):18–24. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.2-3.3

8. Kradetskaya O. O., Chilimova I. V., Dashkevich S. M., Utebaev M. U., Kairzhanov E. K. Ehe relationship of the color differences of flour and grain with the ash content and flour strength of soft wheat various varieties. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seyfullina* = Herald of Science of S Seifullin Kazakh Agro Technical Research University. 2022;2-1(113):24–34. (In Kazakhstan).
DOI: https://doi.org/10.51452/kazatu.2022.2(113).951

9. Marjanović-Balaban Ž., Cvjetković V. G., Grujić R. Gliadin proteins from wheat flour: the optimal determination conditions by ELISA. Foods and Raw Materials. 2021;9(2):364–370.
DOI: https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-364-370

10. Nikonorova Yu. Yu., Volkova A. V., Makushin A. N. Study rheologic properties of the test and bread made from a mixture of premium wheat flour and sorghum flour. *Vestnik KraSGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2021;(4(169)):155–160. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-155-160

11. Hoang T. N., Kopecký M., Konvalina P. Winter wheat mixtures influence grain rheological and mixolab quality. Journal of Applied Life Sciences and Environment. 2022;LIV(4):417–428.
DOI: https://doi.org/10.46909/journalalse-2021-036

12. Lyashcheva S. V., Kulevatova T. B., Zlobina L. N., Sergeeva A. I. Assessment of the parameters of ecological adaptability of winter soft wheat according to the indices of rheological properties of the dough and yield. *Zernobobovie i krupyanie kulturi* = Legumes and Groat Crops. 2024;(2(50)):102–109. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-2-102-109

13. Kravchenko N. S., Marchenko D. M., Nekrasova O. A., Alty-Sadykh Yu. N. The study of rheological and physical dough properties of the winter wheat varieties. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2021;(6):45–52. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-45-52

14. Malchikov P. N., Myasnikova M. G. Methods for determining gluten quality and assessing the rheological properties of durum wheat (review). *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2023;37(11):29–37. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_11_29

15. Meleshkina E. P., Kolomiets S. N., Zhiltsova N. S., Bundina O. I. Modern assessment of bakery properties of Russian wheat. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernikh technology* = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021;83(1):155–162. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-155-162

16. Koba V. P., Korenkova O. O. Weather conditions and dynamics of grain crops in Crimea. *Nauka Yuga Rossii* = Science in the South Russia. 2021;17(4):53–60. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.7868/S25000640210406

17. Dubinkina E. A., Belyaev N. N. Potential of winter soft wheat varieties in the Central Chernozem region. *Zernobobovie i krupyanie kulturi* = Legumes and Groat Crops. 2021;(1(37)):105–111. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-1-105-111

18. Khripunov A. I., Godunova E. I., Taradina D. A., Obshchiya E. N. Formation of the yield and grain quality of winter wheat in semifallow land in different conditions of moistening and nutrition. *Selskokhozyaystvenny zhurnal*. 2025;(1(18)):69–80. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/006.1.18.2025

19. Bartalné-Berceli M., Izsó E., Gergely S., Salgó A. Effects of special additives in wheat dough system measured by Mixolab technique. Czech Journal of Food Sciences. 2021;39(6):460–468.
DOI: https://doi.org/10.17221/228/2020-CJFS

20. Netsvetaev V. P. The role of heredity and environment in the formation of some quantitative traits in common wheat. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* = Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2025;(1):62–71. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=82111820

Сведения об авторах

✉ **Козелец Яна Олеговна**, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0000-0742-316X**,
e-mail: ya.o.kozelets@mail.ru

Шестопалов Игорь Олегович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0000-3796-4821**

Акиншина Ольга Владимировна, кандидат биол. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1284-606X**

Шестопалов Георгий Игоревич, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0004-9642-1535**

Володин Дмитрий Владимирович, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0009-7276-7060**

Шестопалова Наталья Николаевна, кандидат с.-х. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», ул. Победы, д. 85, г. Белгород, Российская Федерация, 308015, e-mail: Info@bsuedu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1899-3536**

Бондаренко Людмила Сергеевна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0009-7311-8679**

Петренко Александр Владимирович, научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0003-3550-5498**

Ащеулова Анна Павловна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0008-0050-7625**

Information about the authors

✉ **Yana O. Kozelets,** junior researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0000-0742-316X,** e-mail: ya.o.kozelets@mail.ru

Igor O. Shestopalov, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0000-3796-4821**

Olga V. Akinshina, PhD in Biological Science, researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1284-606X**

Georgy I. Shestopalov, junior researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0004-9642-1535**

Dmitry V. Volodin, junior researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0009-7276-7060**

Natalia N. Shestopalova, PhD in Agricultural Science, associate professor, Belgorod National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, Russian Federation, 308015, e-mail: Info@bsuedu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1899-3536**

Lyudmila S. Bondarenko, PhD in Biological Science, senior researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0009-7311-8679**

Alexander V. Petrenko, researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0003-3550-5498**

Anna P. Ashcheulova, junior researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemledel2006@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0008-0050-7625**

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ / AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.107–116
УДК 631.828:635.65

Отзывчивость гороха посевного на некорневую подкормку йодистым калием в условиях Северо-Запада России

© 2026. А. И. Иванов✉, Ж. А. Иванова
ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Производство сельскохозяйственной продукции в условиях геохимической аномалии недостатка йода создает угрозу для здоровья населения Северо-Запада России и продуктивности регионального животноводства. В стационарном многолетнем микрополевом опыте, выполненном в 2020–2024 гг. в Псковской области в системе овощного севооборота, проведена комплексная оценка некорневой подкормки гороха посевного раствором йодистого калия (KI). Почва опыта агродерново-слабоподзолистая легкосуглинистая хорошо окультуренная с очень низким содержанием валового (790 мкг/кг) и подвижного (6 мкг/кг) йода. Схема опыта включала 4 варианта: контроль – без подкормки, одно-, дву- и трехкратное опрыскивание посева гороха посевного сорта Рокет 0,02%-м раствором KI. Установлено, что отзывчивость культуры на йодную подкормку и уровень аккумуляции йода в основной и побочной продукции определяются спецификой погодно-климатических условий и кратностью ее проведения. На фоне засушливых условий в фазу ветвления гороха (гидротермический коэффициент 0,4–0,8) прибавка урожайности зерна и соломы существенно возрастала до 109–193 г/м² (35–48 %) и 169–612 г/м² (35–82 %) соответственно. В среднем за пять лет исследования продуктивность культуры под действием йода повысилась на 23 % (с 0,65 до 0,80 зерновых единиц), а содержание йода в зерне и соломе увеличилось в 5,4 и 6,5 раза – до 300 и 467 мкг/кг соответственно. На фоне 3-кратной некорневой подкормки KI урожайность зерна повысилась на 30 % (с 416 до 541 г/м²), соломы – на 34 % (с 958 до 1280 г/м²), окупаемость 1 г йода достигла 14,9 зерновых единиц. При этом содержание йода в зерне и соломе гороха посевного повысилось относительно контроля в 6,9 и 8,5 раза (с 56 и 72 до 389 и 612 мкг/кг).

Ключевые слова*: йод, эффективность, урожайность, окупаемость, зерно, солома, содержание йода*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда и Санкт-Петербургского государственного автономного учреждения «Фонд поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности» в рамках гранта № 24-16-20021 «Биообогащение сельскохозяйственной продукции йодом в условиях Санкт-Петербургской агломерации», https://ias.rscf.ru/user/doc/a.w.p.2024.91.legacy/552502

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Иванов А. И., Иванова Ж. А. Отзывчивость гороха посевного на некорневую подкормку йодистым калием в условиях Северо-Запада России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):107–116.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.107-116

Поступила: 07.11.2025 Принята к публикации: 04.12.2025 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Pea response to foliar application of potassium iodide in North-Western Russia

© 2026. Aleksey I. Ivanov ✉, Zhanna A. Ivanova
Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russian Federation

Agricultural production under conditions of a geochemical anomaly of iodine deficiency poses a threat to human health in Northwest Russia and the productivity of regional livestock farming. A comprehensive evaluation of foliar fertilization of peas with potassium iodide (KI) solution was conducted in a long-term stationary microfield experiment conducted from 2020 to 2024 in the Pskov Region within a vegetable crop rotation system. The experimental soil was a well-cultivated agrosoddy-podzolic light loamy soil with very low total (790 μg/kg) and mobile (6 μg/kg) iodine content. The experimental design included four variants: control (no fertilization), single, double, and triple spraying of peas of the 'Rocket' cultivar with a 0.02% KI solution. It has been established that the crop response to iodine fertilization and the level of iodine accumulation in the main and by-products are determined by the specific weather and climate conditions and the frequency of its implementation. Against the background of drought during pea branching phase (hydrothermal coefficient was 0.4–0.8) the grain and straw yield increase grew significantly and reached 109–193 g/m² (35–48 %) and 169–612 g/m² (35–82 %), respectively. On average, over the five years of the study, crop productivity under the influence of iodine increased by 23 % (from 0.65 to 0.80 grain units), and the iodine content in grain rose 5.4 and 6.5 times – up to 300 and 467 μg/kg, respectively. The optimal fertilization frequency was 3 sprays. This resulted in a 30 % increase in grain yield (from 416 to 541 g/m²) and a 34 % increase in straw yield (from 958 to 1280 g/m²), while the return

on investment per gram of iodine reached 14.9 grain units. The iodine content in the grain and straw of the field pea increased by 6.9 and 8.5 times, respectively, compared to the control (from 56 and 72 to 389 and 612 μg/kg).

Keywords: *iodine, efficiency, yield, cost-effectiveness, grain, straw, iodine content*

Acknowledgments: this work was supported by the Russian Science Foundation and the St. Petersburg State Autonomous Institution "Foundation for Support of Scientific, Technical, and Innovative Activities" under grant No. 24-16-20021 "Biofortification of Agricultural Produce with Iodine in the St. Petersburg Agglomeration", https://ias.rscf.ru/user/doc/a.w.p.2024.91.legacy/552502

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

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

For citation: Ivanov A. I., Ivanova Zh. A. Pea response to foliar application of potassium iodide in North-Western Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):107–116.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.107-116

Received: 07.11.2025 Accepted for publication: 04.12.2025 Published online: 27.02.2026

Расположение северо-западных регионов России в пределах установленной геохимической аномалии йодной недостаточности [1, 2] является весомым фактором, снижающим эффективность животноводства и оказывающим негативное влияние на здоровье местного населения [3, 4, 5]. В группе риска находятся жизненно-важные функции организма (умственная, репродуктивная, регуляция эндокринной и сердечно-сосудистой систем) и целые группы населения (особенно дети и женщины детородного возраста). Поскольку генезис проблемы связан с качеством производимой сельскохозяйственной продукции, ее преодоление должно быть предметом не столько медицинской, сколько агропроизводственной сферы [5, 6].

Однако в условиях, когда эссенциальность йода для растений не была доказана, а государственная политика была сконцентрирована на решении проблемы посредством йодирования отдельных продуктов массового потребления, вопросы применения йодных микроудобрений не стали предметом пристального внимания отечественной агрохимической науки [6, 7]. Фактически комплексные исследования по данной проблематике выполнены локально в Калининградской области [2, 8] и Западной Сибири [9, 10]. Объектами изучения здесь чаще становились зерновые и кормовые культуры, реже картофель. Кормовые травы стали предметом и нашего внимания на первом этапе исследований по йодной проблематике в условиях Северо-Запада РФ [11].

Но, безусловно, ведущая роль в обеспечении организма человека физиологически ценными и незаменимыми нутриентами принадлежит овощным культурам [12, 13]. Среди этой обширной группы нишу особенно ценных занимают представители семейства Бобовые (*Fabaceae* Lindl.), в число наиболее распространенных и важных входит горох посевной (*Lathyrus oleraceus* Lam.) [14]. Особенности его минерального питания и система удобрения в различных почвенно-агрохимических условиях изучены весьма подробно [14, 15, 16]. Однако проблематикой оптимизации йодного питания этой весьма востребованной культуры ранее системно в нашей стране практически не занимались. При этом по причине природной обогащенности аминокислотами теоретический потенциал бионакопления йода горохом посевным и его овощной формой существенно выше, чем у большинства других полевых и овощных культур. Этот фактор в сочетании с положительной почвоулучшающей ролью гороха стал решающим в его выборе в качестве одного из объектов многолетнего исследования в овощном севообороте [17]. В 2024 г. эта работа стала важной частью более масштабного научного поиска по йодной проблематике в рамках гранта «Биообогащение сельскохозяйственной продукции йодом в условиях Санкт-Петербургской агломерации», № 24-16-20021, получившего совместную поддержку Российского научного фонда и Санкт-Петербургского государственного автономного учреждения «Фонд поддержки научной, научно-технической, инновационной деятельности».

Цель исследования – комплексная оценка эффективности некорневой подкормки гороха посевного раствором йодистого калия.

Научная новизна – впервые в условиях Северо-Западного региона России установлены параметры агрономической эффективности и бионакопления йода в продукции гороха посевного при фолиарном применении данного микроэлемента.

Материал и методы. Исследования выполняли в 2020–2024 гг. в микрополевом опыте, заложенном в 2020 г. в д. Купуй Великолукского района Псковской области. Его закладке предшествовало освоение участка под посевом тимофеевки луговой (7-й год хозяйст-

венного использования), которое включало опрыскивание отрастающих после 1-го укоса трав гербицидом сплошного действия Ураган Форте, две фрезерные обработки почвы (на глубину 15 см) и позднюю зяблевую вспашку (на 23 см). Таким образом, предшественником посевного гороха в опыте в первый год исследования служила тимофеевка луговая, в последующие – морковь столовая, возделываемая в овощном севообороте «горох посевной – капуста цветная – свёкла столовая – морковь столовая».

Агродерново-слабоподзолистая почва опытного участка, будучи легкосуглинистой по гранулометрическому составу, по комплексу агрофизических и агрохимических свойств относилась к виду хорошо окультуренных с высокой обеспеченностью подвижными соединениями калия и очень высокой – фосфора. В частности, она обладала весьма водопрочной комковато-зернистой структурой, наименьшей влагоемкостью – 31 %, объемной массой – 1,18 г/см^3, $C_{орг}$ – 2,41 %, pH_{KCl} – 6,41, Нг – 2,37 смоль(экв)/кг, $S_{обм.}$ – 12,88 смоль(экв)/кг, $V_{осн.}$ – 88 %, P_2O_5 – 377 мг/кг и K_2O – 215 мг/кг (подвижные формы по методу Кирсанова). Однако йодный статус почвы (валовое содержание – 790 мкг/кг (кинетическим роданидно-нитритным методом по Проскуряковой), содержание подвижных соединений – 6 мкг/кг (вольтамперометрическим методом) был неудовлетворительным, так как фактическое содержание элемента составило в 5,1 раза ниже кларкового уровня (4000 мкг/кг) и в 6,3 раза – оптимального значения (5000 мкг/кг) [1, 7].

Возделывание гороха посевного в опыте осуществляли по фону минеральной системы удобрения в дозе $N_{75}P_{30}K_{90}$, применяемой вручную в виде сухой смеси из азофоски (18,8 г/м^2), аммиачной селитры (13,0 г/м^2) и калимагнезии (18,8 г/м^2). Посев гороха посевного сорта Рокет (TOFT PLANT BREEDING APS, Дания) проводили вручную широкорядным способом по схеме 2×40 см. После полных всходов посев прореживали до густоты 90 раст/м^2. Уход за посевом в течение вегетации включал послевсходовое боронование, одно междурядное рыхление, одну прополку, два инсектицидных опрыскивания против гороховой зерновки и полив в критически засушливые периоды, когда полевая влажность почвы снижалась до уровня менее 20,2 % (65 % НВ). Такое периодическое орошение было особенно важно для данного сорта гороха, так как он обладает повышенной чувствительностью к дефициту влаги, который фиксировался в 2020 и 2024 гг. – в мае, в 2023 г. – в мае – июне, в 2021 г. – июле, в 2022 г. – августе. Годовые нормы орошения варьировали от 8 л/м^2 в 2020 г. до 62 л/м^2 в 2023 г.

Схема опыта включала четыре варианта некорневой подкормки гороха посевного 0,02%-м раствором KI: контроль – без подкормки; KI-1 – однократное опрыскивание (доза йода 46 г/га**,** или 4,6 мг/м^2); KI-2 – двукратное опрыскивание (доза йода 92 г/га, или 9,2 мг/м^2); KI-3 – трёхкратное опрыскивание (доза йода 138 г/га, или 13,8 мг/м^2). Выбор данной концентрации рабочего раствора был продиктован гипотетическими соображениями ожидания достоверной агрономической эффективности с гарантированным отсутствием токсичных эффектов [11]. Первое опрыскивание проводили в фазу «ветвление» (5-6 настоящих листьев), последующие – с периодичностью в две недели. Второе опрыскивание приходилось на фазу «бутонизация – начало цветения», третье – на «цветение – начало завязывания бобов». Норма расхода рабочего раствора KI, вносимого с помощью ранцевого опрыскивателя Stihl SG51 (Andreas Stihl AG & Co., Германия), составляла 30 мл/м^2. Ее точный контроль осуществляли по времени, затрачиваемому на опрыскивание одной делянки площадью 3 м^2. В качестве источника йода использовали отечественный кристаллический KI хч. производства ОАО «Троицкий йодный завод».

При общей площади делянки в опыте 3 м^2 ее учетная часть составила 1 м^2. Варианты в шестикратной повторности размещали в пространстве систематически. Программа наблюдений включала фенологический, биометрический и фитосанитарный разделы. Учет проводили сплошным весовым методом (точность взвешивания 1 г) с определением основных факторов продуктивности культуры: густота стояния растений перед уборкой; количество бобов на 1 растении; количество зерен в бобе; масса 1000 зерен. Образцы зерна и соломы гороха посевного массой 0,4 и 1 кг, соответственно, подвергались анализу в испытательной лаборатории ФГБНУ АФИ. Содержание йода в них определяли по ГОСТ 28458-90[1].

[1]ГОСТ 28458-90. Корма растительные. Метод определения йода. М.: Стандартинформ, 2006. 7 с. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/3734/

Статистическую обработку результатов исследования проводили дисперсионным методом анализа с использованием разработанного в ФГБНУ АФИ программного обеспечения. Достоверность различий средних по вариантам микрополевого опыта величин отдельных показателей оценивали на 5%-м уровне значимости по критерию Фишера.

Результаты и их обсуждение. Рост и развитие гороха посевного в условиях опыта, где питательный режим почвы был практически оптимальным, определялись, главным образом, спецификой погодно-климатических условий. Повышенная теплообеспеченность и недостаток влаги заметно ускоряли прохождение отдельных фаз онтогенеза, напротив, прохладные и избыточно влажные условия увеличивали их продолжительность. В частности, в 2023 г. необычно длительная поздневесенная – раннелетняя засуха, даже на фоне проведения поливов, сократила вегетационный период в среднем на 6 дней. Напротив, пришедшаяся на такой же засушливый период начала вегетации в 2024 г. беззаморозковая волна холода задержала развитие растений на 8 дней. Растения гороха сорта Рокет оказались гораздо более чувствительны к таким продолжительным негативным проявлениям погоды, чем к заморозкам, сопровождавшим начальные фазы роста в 2022 г. Действие йодной некорневой подкормки на прохождение растениями фенологических фаз развития носило весьма неустойчивый характер. При благоприятной теплой и влажной погоде второй половины вегетации это выражалось в удлинении межфазных периодов заключительной части вегетации, на фоне жарких и засушливых условий (например, в 2021 г.) – в их сокращении. Это вызвало разнонаправленное изменение общей продолжительности вегетационного периода под действием йодной некорневой подкормки в среднем по вариантам на 3–5 дней.

Избыточно влажные и теплые условия заключительной части вегетации в 2023 и 2024 гг. способствовали развитию возбудителя фузариозного увядания и умеренной распространенности болезни (ниже среднего уровня), что, тем не менее, оказало негативное воздействие на продуктивность культуры. В отличие от цветной капусты и свеклы столовой, где оптимизация йодного питания вызвала достоверную активизацию иммунитета к некоторым возбудителям заболеваний [17], относительно поражения гороха посевного фузариозом этот эффект имел лишь форму положительной тенденции.

Все эти факторы оказали разностороннее влияние на результирующую продукционного процесса – урожайность основной (зерна) и побочной (соломы) продукции гороха посевного (табл. 1). Наиболее благоприятные погодные условия для роста и развития гороха сложились в 2022 г. – урожайность основной и побочной продукции сформировалась в контроле выше на 59 и 41 % соответственно, чем в среднем за пять лет исследования (416 и 958 г/м^2). Главными факторами снижения зерновой продуктивности культуры в 2020 г. (на 18 %) стала недостаточная теплообеспеченность, в 2021 г. (на 12 %) – июльская засуха, в 2024 г. (на 25 %) – продолжительная майско-июньская волна холода и в меньшей степени поражение растений фузариозным увяданием. Минимальная урожайность соломы гороха (на 50 % ниже среднего многолетнего показателя – 958 г/м^2) была сформирована в критически засушливых условиях июня – начала июля 2023 г. Однако вопреки ожиданиям, показатель отношения побочной продукции к основной в годы исследования варьировал значительно от 1,2 ед. 2023 г. до 3,8 ед. в 2020 г. при среднем значении – 2,4 ед. Это привело к определенному разобщению между уровнями урожайности основной и побочной продукции.

Отзывчивость гороха посевного на оптимизацию йодного питания в форме некорневой подкормки также в значительной мере определялась спецификой погодно-климатических условий и, конечно, кратностью ее проведения. Относительно высокий уровень прибавок урожайности в среднем по вариантам подкормки зафиксировали в 2023 г. (зерна – 193 г/м^2, или 48 %; соломы – 169 г/м^2, или 35 %) и в 2024 г. (зерна – 109 г/м^2, или 35 %; соломы – 612 г/м^2, или 82 %), когда первое опрыскивание проводили на фоне критической засухи (ГТК – 0,4–0,8). Аналогичный эффект повышенной отдачи от некорневой подкормки раствором йодистого калия на фоне засушливых условий получили ранее на однолетних травах (смеси овса и вики посевных) [11] и яровой пшенице [18]. Наиболее вероятной причиной этого эффекта является усиление под действием йода синтеза фенолпроизводных антиоксидантов и регуляция обменных реакций, определяющих стрессоустойчивость растений [19]. Косвенным подтверждением повышения обводненности цитоплазмы клеток под действием йода стало существенное увеличение (на 1,5–2,9 %) влажности зерна и соломы гороха в соответствующих вариантах.

Таблица 1 – **Агрономическая эффективность йодной некорневой подкормки гороха посевного сорта Рокет по годам исследования /**
Table 1 – **Agronomic effectiveness of iodine foliar top dressing of 'Rocket' peas by the years of study**

Вариант опыта / Variant of the experiment	*2020 г.*			*2021 г.*			*2022 г.*			*2023 г.*			*2024 г.*		
	урожайность, г/м² / yield, g/m²	*прибавка / increase*		*урожайность, г/м² / yield, g/m²*	*прибавка / increase*		*урожайность, г/м² / yield, g/m²*	*прибавка / increase*		*урожайность, г/м² / yield, g/m²*	*прибавка / increase*		*урожайность, г/м² / yield, g/m²*	*прибавка / increase*	
		г/м² / g/m²	*%*		*г/м² / g/m²*	*%*		*г/м² / g/m²*	*%*		*г/м² / g/m²*	*%*		*г/м² / g/m²*	*%*
Зерно (влажность 14 %) / Grain (moisture content 14 %)															
Контроль / Control	340	-	-	367	-	-	660	-	-	400	-	-	311	-	-
KI-1	367	27	8	370	3	1	647	13	-2	500	100	25	388	77	25
KI-2	373	33	10	393	26	7	780	120	18	613	213	53	412	101	32
KI-3	400	60	18	420	53	14	760	100	15	667	267	67	459	148	48
Среднее KI / Medium KI	380	40	12	394	27	7	729	69	10	593	193	48	420	109	35
HCP_{05} / LSD_{05}	-	21	-	-	14	-	-	29	-	-	16	-	-	10	-
Солома (влажность 18 %) / Straw (moisture content 18 %)															
Контроль / Control	1287	-	-	927	-	-	1353	-	-	480	-	-	743	-	-
KI-1	1313	26	2	907	-20	-2	1373	20	1	533	53	11	1233	490	66
KI-2	1527	240	19	1080	153	17	1573	20	16	640	160	33	1415	672	90
KI-3	1500	213	17	1130	203	22	1580	227	17	773	293	61	1417	674	91
Среднее KI / Medium KI	1447	160	12	1039	112	12	1509	156	12	649	169	35	1355	612	82
HCP_{05} / LSD_{05}	-	103	-	-	82	-	-	69	-	-	56	-	-	60	-

Примечания: некорневая подкормка 0,02%-м раствором йодистого калия: KI-1 – однократная, KI-2 – двукратная, KI-3 – трехкратная /
Notes: foliar dressing with 0.02% potassium iodide solution: KI-1 – one-fold, KI-2 – two-fold, KI-3 – three-fold

По мере повышения кратности опрыскивания растений гороха посевного их агрономическая эффективность заметно возрастала. Так, если однократная некорневая подкормка обеспечила достоверную прибавку урожайности зерна в течение 3 лет, а соломы – 1 года из 5 лет исследования, то дву- трехкратная – во все годы проведения опыта. При этом достоверное превосходство варианта KI-3 над KI-2 по урожайности зерна было зафиксировано по 4 годам, соломы – по 1 году исследования. Эта закономерность вполне соответствует ранее установленным данным о более высоком уровне потребности в йоде бобовых культур [11].

Оценка вклада отдельных факторов зерновой продуктивности культуры в прибавку урожайности зерна показала, что под действием некорневой йодной подкормки в среднем за пять лет они сформировали убывающий ряд: количество бобов на растении → густота стояния растений (выживаемость растений к уборке) → число зёрен в бобе → масса 1000 зёрен. Но и их положение в данном ряду было весьма неустойчивым. Так, при благоприятной погоде, когда масса 1000 зерен на фоне вариантов с йодом доходила до 261 г, положительное значение этого показателя становилось более выраженным, в других случаях – недостоверным. В большинстве лет исследования более 80 % прибавки урожайности зерна обеспечивалось за счет положительного действия оптимизации йодного питания на количество бобов на 1 растении и выживаемость растений к моменту проведения уборки.

Несмотря на то, что по уровню отзывчивости на фолиарное применение йодистого калия горох посевной уступил остальным культурам овощного севооборота [17], в среднем за пять лет исследования были достигнуты высокие параметры его продуктивности (табл. 2). Вполне закономерно, вегетативная биомасса гороха, учтенная в опыте в виде соломы, оказалась чувствительнее к применению йода, чем генеративная (в 1,2 раза по относительному уровню прибавки урожайности). Достоверная прибавка урожайности зерна и соломы на 9 и 12 % была достигнута уже при однократном опрыскивании гороха посевного 0,02%-м раствором KI. Трехкратная некорневая подкормка позволила увеличить урожайность зерна в 1,30 раза, соломы – в 1,34 и общую продуктивность культуры – 1,31 раза, т. е. почти на треть относительно контрольного варианта.

Таблица 2 – **Влияние йодной некорневой подкормки на продуктивность гороха посевного сорта Рокет (в среднем за 2020–2024 гг.) /**
Table 2 – **The effect of iodine foliar top dressing on the productivity of 'Rocket' peas (on average for 2020–2024)**

Вариант опыта / Variant of the experiment	*Показатель продуктивности по видам продукции / Productivity indicator by product types*								
	зерно / grain			*солома / straw*			*основная и побочная / main and secondary*		
	урожайность, г/м² / yield, g/m²	*прибавка / increase*		*урожайность, г/м² / yield, g/m²*	*прибавка / increase*		*продуктивность, зерн. ед./м² / productivity, grain unit/m²*	*прибавка / increase*	
		г/м² / g/m²	*%*		*г/м² / g/m²*	*%*		*зерн.ед./м² / grain unit/m²*	*%*
Контроль / Control	416	-	-	958	-	-	0,65	-	-
KI-1	454	38	9	1072	114	12	0,72	0,07	10
KI-2	514	98	24	1247	289	30	0,82	0,17	26
KI-3	541	125	30	1280	322	34	0,86	0,21	31
Среднее KI / Medium KI	503	87	21	1200	242	25	0,80	0,15	23
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	-	18	-	-	74	-	-	0,04	-

Расчет натуральной окупаемости внесенного при подкормке йода в дозах от 46 до 138 г/га показал, что её уровень достиг очень высоких значений. Так, по зерну гороха на каждый грамм внесенного йода в вариантах KI-1, KI-2 и KI-3 она составила 8,3 кг, 10,7 и 9,1 кг, а по общей хозяйственной продуктивности – 14,6, 18,5 и 14,9 зерн. ед.

Однако в оценке отзывчивости гороха посевного на применение йодной некорневой подкормки критически важен не столько этот результат, сколько его способность накопить йод в своей продукции. Как показали лабораторные исследования, естественный уровень содержания йода в сухом веществе зерна и соломы варьировал в характерных для региона низких пределах 42–68 и 57–85 мкг/кг соответственно (рис.). Коэффициент вариации этого показателя составил 18 % для зерна и 16 % – для соломы. При этом обнаружилась тенденция к более высокому накоплению йода на фоне дождливой погоды второй половины вегетации. Однако противоположный характер влияния на аккумуляцию йода в биомассе имел эффект биологического разбавления вследствие усиления продукционного процесса растений гороха посевного.

Однократное опрыскивание посева 0,02%-м раствором KI увеличило содержание йода в зерне и соломе до 115–251 и 198–394 мкг/кг, двукратное – до 262–404 и 373–590 мкг/кг и трехкратное – до 303–486 и 442–761 мкг/кг соответственно. Вариабельность этого показателя в среднем по удобренным йодом вариантам увеличилась для зерна и соломы до 21 и 22 %. Причем избыточное увлажнение второй половины вегетации стало уже достоверным фактором сокращения аккумуляции йода в биомассе гороха. Его содержание в зерне (252 мкг/кг) и соломе (384 мкг/кг) в среднем по удобренным йодом вариантам на фоне 1,5–3-кратного превышения среднемесячных нормативов выпадения осадков в июле – августе 2020 и 2023 гг. отмечено на 18 и 22 % ниже, чем в 2021 и 2022 гг. с засушливыми условиями в этот период (307 и 492 мкг/кг). Вероятной причиной снижения аккумуляции йода стало увеличение его потерь при смывании с поверхности растений в дождливые периоды. Как следствие, минимальный уровень аккумуляции йода в зерне и соломе (227 и 338 мкг/кг) пришелся на 2020 г., когда ГТК в период «июль – август» составил 2,38.

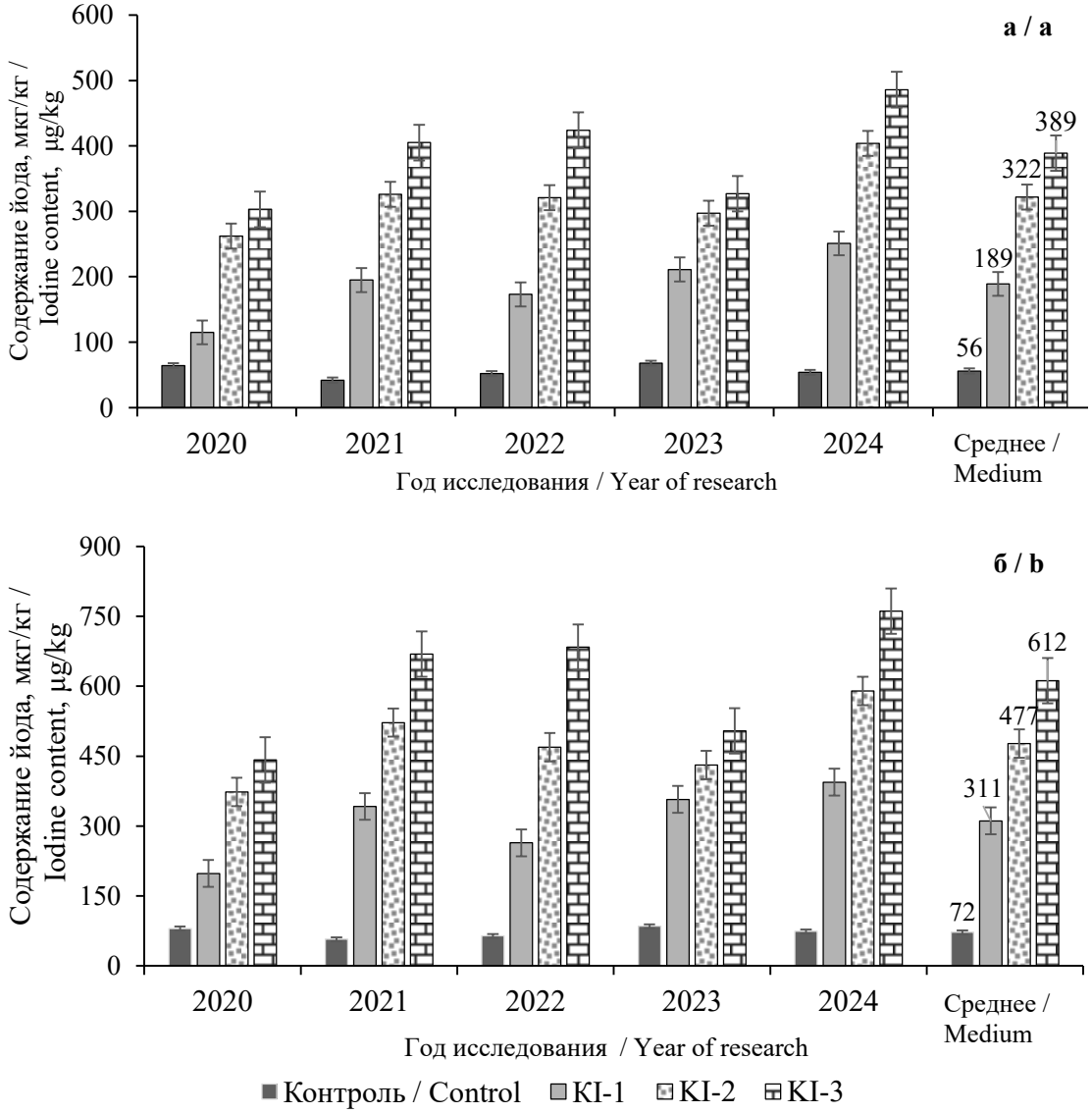


Рис. **Содержание йода в зерне (а) и соломе (б) гороха посевного сорта Рокет в зависимости от кратности применения некорневой подкормки KI** (доверительный интервал представлен удвоенным стандартным отклонением, средний $НСР_{05}$ для зерна –24 мкг/кг, соломы – 31 мкг/кг) /

Fig. **Iodine content in grain (a) and straw (b) of 'Rocket' peas, depending on the frequency of application of KI foliar top dressing** (the confidence interval is represented by a doubled standard deviation, the average LSD_{05} for grain is 24 µg/kg, for straw – 31 µg/kg)

И все же, несмотря на возрастающую вариабельность по годам, в среднем по вариантам с йодной некорневой подкормкой гороха посевного содержание йода в зерне и соломе увеличилось относительно контроля в 5,4 и 6,5 раза, достигнув 300 и 467 мкг/кг соответственно. Уровень дополнительной биоаккумуляции йода в основной и побочной продукции гороха существенно возрастал по мере увеличения кратности некорневых подкормок со 133 и 239 мкг/кг при однократной до 266 и 406 мкг/кг – при двукратной и 333 и 540 мкг/кг – при трехкратной подкормке соответственно. Однако параметры прироста содержания йода от каждого последующего опрыскивания посева гороха 0,02%-м раствором KI заметно снижались.

Достигнутые за пять лет исследования показатели бионакопления йода в зерне и соломе гороха посевного, свидетельствующие об увеличении его содержания при одно-, дву- и трехкратной подкормке 0,02%-м KI – в 3,4 и 4,3, 5,8 и 6,6, 6,9 и 8,5 раза соответственно, подтвердили высокий функциональный потенциал данной культуры. Этот факт имеет особенно важное значение в связи с тем, что горох посевной является ценной культурой многостороннего использования от кормового и фуражного до овощного и продовольственного направления.

Заключение. В многолетних микрополевых исследованиях в условиях Северо-Западного региона России получены результаты по эффективности некорневой подкормки гороха посевного (на примере сорта Рокет) 0,02%-м раствором йодистого калия. Отзывчивость гороха посевного, возделываемого на хорошо окультуренной агродерново-слабоподзолистой почве, на применение йода варьировала по годам и определялась, главным образом, биологическими особенностями культуры, спецификой погодно-климатических условий и кратностью ее проведения. Увеличению эффективности подкормки способствовали засушливые условия второй половины вегетационного периода, на фоне которых абсолютный уровень прибавки урожайности зерна увеличился в 3,4 раза (с 45 до 151 г/м^2), соломы – в 2,6 раза (со 148 до 391 г/м^2). В среднем по обработанным KI вариантам отзывчивость культуры достигла высоких значений и выразилась в формировании урожайности зерна – 503 г/м^2, соломы – 1200 г/м^2 и общей продуктивности 0,80 зерн. ед./м^2 при относительном уровне их прибавки к контролю в 21–25 %. При установленном оптимальном трехкратном уровне проведения некорневых подкормок 0,02%-м рабочим раствором KI с расходом 30 мл/м^2 урожайность зерна гороха посевного повысилась на 30 % (с 416 до 541 г/м^2), соломы – на 34 % (с 958 до 1280 кг/м^2), общая продуктивность – на 31 % (с 0,65 до 0,86 зерн. ед./м^2), а окупаемость 1 г йода составила 14,9 зерн. ед.

При возделывании гороха посевного на почвах с низким содержанием йода уровень его накопления в зерне (56 мкг/кг) и соломе (72 мкг/кг) не отвечает физиологическим потребностям человека и животных. Под действием некорневых подкормок раствором KI его удается повысить в среднем до 300 и 467 мкг/кг соответственно. При трехкратном опрыскивании уровень накопления йода увеличивается в зерне гороха посевного до 389 мкг/кг (в 6,9 раза относительно контроля) и в соломе – до 612 мкг/кг (в 8,5 раза).

Достигнутый в опыте потенциал бионакопления йода показал, что агротехническое биообогащение овощной и кормовой продукции на основе гороха посевного этим элементом может и должно стать важным средством в решении крупной геохимической проблемы недостатка йода в почвах Северо-Западного региона России.

Список литературы

1. Ковальский В. В., Андрианова Г. А. Микроэлементы в почвах СССР. М.: Наука, 1970. 180 с. Режим доступа: https://search.rsl.ru/ru/record/01007401791?ysclid=mh12lg7qnj66264553#

2. Панасин В. И., Вихман М. И., Чечулин Д. С., Рымаренко Д. А. Агрохимические особенности распределения йода в почвах агроландшафтов Калининградской области. Плодородие. 2019;(1(106)):31–35. DOI: https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.106.10 EDN: VVXAFE

3. Дедов И. И., Мельниченко Г. А., Трошина Е. А., Платонова Н. М., Абдулхабирова Ф. М., Шатнюк Л. Н. и др. Дефицит йода – угроза здоровью и развитию детей России: Национальный доклад. М.: ЮНИСЕФ, 2006. 124 с. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18782788 EDN: PVAPXF

4. Трошина Е. А., Платонова Н. М., Панфилова Е. А. Аналитический обзор результатов мониторинга основных эпидемиологических характеристик йододефицитных заболеваний у населения Российской Федерации за период 2009-2018 гг. Проблемы эндокринологии. 2021;67(2):10–19. DOI: https://doi.org/10.14341/probl12433 EDN: YEHAYS

5. Платонова Н. М., Трошина Е. А. Йодный дефицит: решение проблемы в мире и России (25-летний опыт). Consilium Medicum. 2015;17(4):44–50. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23636329 EDN: TXGBVT

6. Голубкина Н. А., Кекина Е. Г., Надежкин С. М. Перспективы обогащения сельскохозяйственных растений йодом и селеном (обзор). Микроэлементы в медицине. 2015;16(3):12–19. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24928385 EDN: UZNFCJ

7. Шеуджен А. Х. Биогеохимия. Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. 1028 с.

8. Панасин В. И., Рымаренко Д. А., Вихман М. И., Чечулин Д. С. Действие йодных микроудобрений на урожай и качество озимого рапса. Агрохимический вестник. 2019;(2):39–41. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10025 EDN: ZFALSX

9. Конарбаева Г. А., Бойко В. С., Якименко В. Н. Изменение почвенного фонда йода в агроценозах лесостепи Западной Сибири. Агрохимия. 2022;(12):55–61. DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188122120080 EDN: MDSXWS

10. Синдирева А. В., Курдуманова О. И., Степанова О. В., Гилязова И. Б. Экологическая оценка различных способов применения йодида калия под зерновые культуры. Вестник КрасГАУ. 2017;(2):134–141. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28376416 EDN: XWYZMD

11. Иванов А. И., Рак М. В., Иванова Ж. А., Филиппова П. С., Филиппов П. А. Биологические особенности отклика кормовых трав на применение йода на агродерново-подзолистых почвах различной окультуренности. Сельскохозяйственная биология. 2022;57(3):486–499. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.3.486rus EDN: EOIOBA

12. Пивоваров В. Ф., Пышная О. Н., Гуркина Л. К. Овощи – продукты и сырьё для функционального питания. Вопросы питания. 2017;86(3):121–127. Режим доступа: https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=7711 EDN: ZFQFFN

13. Гинс М. С., Гинс В. К., Пивоваров В. Ф., Кононков П. Ф., Дерканосова Н. М. Значение овощных культур в коррекции биохимического состава рациона человека. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017;(2):3–5. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=28904721 EDN: YINOQJ

14. Пивоваров В. Ф. Овощи России. М.: ГНУ ВНИИССОК, 2006. 384 с.

15. Борисов В. А. Система удобрения овощных культур. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 392 с. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01008508121?ysclid=mh13b811br139573483#

16. Солдатенко А. В., Борисов В. А. Экологическое овощеводство. М.: ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», 2022. 504 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=49388517 EDN: HBRGMW

17. Иванова Ж. А. Агрономическая эффективность йодной некорневой подкормки в овощном севообороте. Агрофизика. 2025;(2):10–17. DOI: https://doi.org/10.25695/AGRPH.2025.02.02 EDN: JSGUHV

18. Серегина И. И., Ахметжанов Д. М. Оценка влияния йодида калия на урожайность и устойчивость к засухе яровой пшеницы. Плодородие. 2024;(3(138)):52–56.
DOI: https://doi.org/10.24412/1994-8603-2024-3138-52-56 EDN: KZPKZO

19. Wang L., Zhou X., Fredimoses M., Liao S., Liu Y. Naturally occurring organoiodines. RSC Advances. 2014;4:57350–57376. DOI: https://doi.org/10.1039/C4RA09833A

References

1. Kovalsky V. V., Andrianova G. A. Trace elements in the soils of the USSR. Moscow: *Nauka*, 1970. 180 p. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01007401791?ysclid=mh12lg7qnj66264553#

2. Panasin V. I., Vikhman M. I., Chechulin D. S., Rimarenko D. A. Agrochemical peculiarities of iodine distribution in soils of agrolandscapes of Kaliningrad region. *Plodorodie*. 2019;(1(106)):31–35. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.106.10

3. Dedov I. I., Melnichenko G. A., Troshina E. A., Platonova N. M., Abdulkhabirova F. M., Shatnyuk L. N. et al. Iodine deficiency is a threat to the health and development of Russian children: National report. Moscow: *YUNISEF*, 2006. 124 p. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18782788

4. Troshina E. A., Platonova N. M., Panfilova E. A. Dynamics of epidemiological indicators of thyroid pathology in the population of the Russian Federation: analytical report for the period 2009–2018. *Problemy endokrinologii* = Problems of Endocrinology. 2021;67(2):10-19. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14341/probl12433

5. Platonova N. M., Troshina E. A. Iodine deficiency: current status. Consilium Medicum. 2015;17(4):44–50. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23636329

6. Golubkina N. A., Kekina E. G., Nadezhkin S. M. Prospects of enrichment of agricultural plants with iodine and selenium (review). *Mikroelementi v meditsine* = Trace Elements in Medicine (Moscow). 2015;16(3):12–19. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=24928385

7. Sheudzhen A. Kh. Biogeochemistry. Maykop: *GURIPP «Adigeya»*, 2003. 1028 p.

8. Panasin V. I., Rimarenko D. A., Vikhman M. I., Chechulin D. S. Effect of iodine microfertilizers on yield and quality of winter rape. *Agrokhimichesky vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(2):39–41. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10025

9. Konarbaeva G. A., Boyko V. S., Yakimenko V. N. Changes in the soil fund of iodine in the agrocenosis of the forest-steppe of Western Siberia. *Agrokhimiya*. 2022;(12):55–61. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188122120080

10. Sindireva A. V., Kurdumanova O. I., Stepanova O. V., Gilyazova I. B. Ecological assessment of various methods of iodide potassium application under grain crops. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2017;(2):134–141. ((In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28376416

11. Ivanov A. I., Rak M. V., Ivanova Zh. A., Filippova P. S., Filippov P. A. Biological features of the response of fodder grasses to the use of iodine on agrosod-podzolic soils of various cultivation levels. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2022;57(3):486–499. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.3.486rus

12. Pivovarov V. F., Pishnaya O. N., Gurkina L. K. Vegetables are products and raw material for functional nutrition. *Voprosi pitaniya* = Problems of Nutrition. 2017;86(3):121–127. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=7711

13. Gins M. S., Gins V. K., Pivovarov V. F., Kononkov P. F., Derkanosova N. M. The vegetable crops value in remodeling of the human dietary biochemical composition. *Vestnik rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2017;(2):3–5. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=28904721

14. Pivovarov V. F. Vegetables of Russia. Moscow: *GNU VNIISSOK*, 2006. 384 p.

15. Borisov V. A. Vegetable fertilization system. Moscow: *FGBNU «RosinformagroteKH»*, 2016. 392 p. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01008508121?ysclid=mh13b811br139573483#

16. Soldatenko A. V., Borisov V. A. Ecological vegetable growing. Moscow: *FGBNU «Federalny nauchny tsentr ovoshchevodstva»*, 2022. 504 c. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=49388517

17. Ivanova Zh. A. Agronomic efficiency of iodine foliar treatment in vegetable crop rotation. *Agrofizika* = Agrophysica. 2025;(2):10–17. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25695/AGRPH.2025.02.02

18. Seregina I. I., Akhmetzhanov D. M. Assessment of the effect of potassium iodide on the yield and drought resistance of various spring wheat varieties. *Plodorodie*. 2024;(3(138)):52–56. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/1994-8603-2024-3138-52-56

19. Wang L., Zhou X., Fredimoses M., Liao S., Liu Y. Naturally occurring organoiodines. RSC Advances. 2014;4:57350–57376. DOI: https://doi.org/10.1039/C4RA09833A

Сведения об авторах

✉ **Иванов Алексей Иванович**, доктор с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: office@agrophys.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1502-0798, e-mail: ivanovai2009@yandex.ru

Иванова Жанна Анатольевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3138-8285**

Information about the authors

✉ **Alexey I. Ivanov**, DSc in Agricultural Science, professor, corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1502-0798**,
e-mail: ivanovai2009@yandex.ru

Zhanna A. Ivanova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: office@agrophys.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3138-8285

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.117–128
УДК 633.16:581.132

Генотипические различия реакции пигментного комплекса листьев ярового ячменя на некорневую подкормку азотом

© 2026. Е. Н. Носкова✉, Е. М. Лисицын
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Цель работы – выявить сортовые отличия в реакции пигментного комплекса листьев растений ячменя на некорневую обработку азотосодержащими препаратами. Исследования (2020–2023 гг.) проводили в полевом опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в условиях Кировской области. Изучали влияние препаратов КАС 28 (N 360 г/л) и Полидон Амино Старт (N 130 г/л) на накопление пигментов в двух верхних листьях растений сортов ячменя Новичок, Памяти Родиной и Родник Прикамья. Выяснено, что в зависимости от условий выращивания и генотипа растений некорневые обработки изучаемыми препаратами могут значимо изменять содержание в листьях зеленых и желтых пигментов (Chl a – 67–111 %; Chl b – 83–118 %; каротиноиды – 83–118 % относительно контроля без обработки). Из 72 вариантов опыта (3 сорта, 2 обработки, 4 года, 3 типа пигментов) изменения отмечены в 56 – для флагового листа и в 19 вариантах – для подфлагового. При значительной разнице в содержании азота в примененных препаратах, различие в их эффекте по содержанию хлорофилла составляло всего несколько процентов. Так, в 2020 г. у сорта Новичок содержание Chl a во флаговом листе увеличилось на 8 % при обработке КАС 28 и на 6 % – Амино Старт; в 2022 г. КАС 28 повысил содержание Chl a во флаговом листе сорта Родник Прикамья на 8 %, а Амино Старт снизил на 4 % относительно контроля. У сорта Памяти Родиной в 2020 г. отмечен отрицательный эффект КАС 28 (-6 % от контроля) и положительный – для Амино Старт (+5 % к контролю). Условия одного и того же года могут усилить действие препаратов на накопление пигментов у одного сорта, но снизить у другого. В 2020 и 2022 гг. КАС 28 повышал содержание Chl a во флаговых листьях у сортов Новичок (на 8,3–10,4 %) и Родник Прикамья (на 7,9–9,1 %), но снижал у Памяти Родиной (на 6,2–10,5 %); Амино Старт в 2020 г. увеличил содержание Chl b во флаговом листе сортов Новичок и Памяти Родиной (на 10,7–11,7 %), но снизил у сорта Родник Прикамья (на 9,6 %). В целом, эффект некорневой обработки азотсодержащими препаратами на содержание листовых пигментов во флаговом листе определялся как погодными условиями вегетации (от 14,5 до 41,7 %), так и генотипом сорта (от 1,5 до 14,0 %). В отношении накопления фотосинтетических пигментов для сорта Новичок эффективно применение некорневой обработки обоими препаратами (особенно в неблагоприятных погодных условиях фазы цветения), для Родник Прикамья – препаратом КАС 28, Памяти Родиной – Амино Старт.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., *карбамидно-аммиачная смесь, Полидон Амино Старт, флаговый лист, подфлаговый лист, хлорофилл, каротиноиды*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2025-0005).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Носкова Е. Н., Лисицын Е. М. Генотипические различия реакции пигментного комплекса листьев ярового ячменя на некорневую подкормку азотом. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):117–128. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.117-128

Поступила: 21.07.2025 Принята к публикации: 13.02.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Genotypic differences in the response of spring barley leaf pigment complex to foliar nitrogen application

© 2026. Eugeniya N. Noskova✉, Eugene M. Lisitsyn
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The purpose of the work is to identify varietal differences in the response of the pigment complex of barley plant leaves to top-dressing with nitrogen-containing preparations. The research was carried out in 2020–2023 in the field experiment on sod-podzolic medium-loamy soil in the conditions of the Kirov region. The effect of nitrogen-containing preparations CAS 28 (N 360 g/l) and Polydon Amino Start (N 130 g/l) on the accumulation of pigments in two upper leaves of plants of 'Novichok', 'Rodnik Prikamya', and 'Pamyaty Rodinoy' cultivars was studied. It was found that foliar treatments with the studied preparations can significantly change the content of green and yellow leaf pigments depending on the growing conditions and specific plant genotype (Chl a – 67–111%; Chl b – 83–118 %; carotenoids – 80–128 % relative to the control without treatment). Of 72 test variants (3 cultivars, 2 treatments, 4 years, 3 types of pigments), changes were noted in 56 variants for the flag leaf, but only in 19 variants for the second leaf. With the significant difference in the nitrogen content of the preparations used, the difference in their effect on the chlorophyll content was only a few percent. So, in 2020 for the 'Novichok' cultivar the content of Chl a in a flag leaf increased by 8 % under the use of CAS 28 and by 6 % with Amino Start. In 2022 CAS 28 increased the Chl a content in the flag leaf of the 'Rodnik Prikamya' cultivar by 8 %, but Amino Start decreased it by 4 % relative to the control. For 'Pamyaty Rodinoy' cultivar in 2020, a negative effect of CAS 28 (-6 % of the control) and a positive effect for

Amino Start (+5 % of the control) were noted. The conditions of one and the same year can increase the effect of preparations on the accumulation of pigments for one cultivar, but reduce it for another. In 2020 and 2022 CAS 28 increased the content of Chl a in flag leaves of the cv. 'Novichok' (by 8.3–10.4 %) and 'Rodnik Prikamya' (by 7.9–9.1 %), but reduced in cv. 'Pamyaty Rodinoy' (by 6.2–10.5 %); Amino Start in 2020 increased the content of Chl b in flag leaves of the cv. 'Novichok' and 'Pamyaty Rodinoy' (by 10.7–11.7 %), but reduced it the cv. 'Rodnik Prikamya' (by 9.6 %). In general, the effect of foliar treatment with nitrogen-containing preparations on the content of flag leaf pigments was determined both by the weather conditions of vegetation (from 14.5 to 41.7 %) and by the genotype of the cultivar (from 1.5 to 14.0 %). With regard to the accumulation of photosynthetic pigments for the cv. 'Novichok', the use of top-dressing with both preparations is effective (especially in adverse weather conditions at the flowering phase), with CAS 28 for cv. 'Rodnik Prikamya', with Amino Start for cv. 'Pamyaty Rodinoy'.

Keywords: *Hordeum vulgare* L. *carbamide-ammonia mixture, Polydon Amino Start, flag leaf, second leaf, chlorophyll, carotenoids*

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 Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2025-0005).

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: Noskova E. N., Lisitsyn E. M. Genotypic differences in the response of spring barley leaf pigment complex to foliar nitrogen application**.** *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):117–128. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.117-128

Received: 21.07.2025 Accepted for publication: 13.02.2026 Published online: 27.02.2026

Азот является одним из наиболее важных химических элементов питания растений, играющим главную роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур [1]. Недостаток азота в растениях приводит к хлорозу листьев, медленному росту, уменьшению размеров тканей и раннему старению, что в сумме проявляется в снижении биомассы и урожая [2]. Для повышения эффективности азотных удобрений, синхронизации их внесения с потребностями растений и снижения нагрузки на экосистемы обычной практикой стало дробное внесение – под предпосевную культивацию и в виде некорневых подкормок по фазам развития культуры. Так, для риса принято вносить базово 30 % азота, в фазу кущения – 35 %, в фазу выметывания – еще 35 %; для кукурузы и пшеницы практикуют двух- трехкратное внесение [3]. При выращивании растений ячменя (*Hordeum vulgare* L.) [4] не обнаружили статистически значимых отличий в сборе урожая между двух-, трех- и четырехкратным внесением азота, что может свидетельствовать о достаточности разбития всей дозы азота на два периода внесения (предпосевное и в фазу кущения). Такого же мнения придерживаются и другие исследователи, работающие с ячменем. Например [5], отмечали, что максимальное содержание азота в растениях ячменя на стадии кущения указывает на то, что эта сельскохозяйственная культура нуждается в бóльшей части своей потребности в азоте именно на этой стадии. Кроме того, применение азотных подкормок в фазу кущения ячменя способствует более длительному периоду роста [4].

Поступая в листья, приблизительно 80 % азота накапливается хлоропластами в клетках паренхимы мезофилла. В самих хлоропластах около 50 % этого азота включается в хлорофилл-белковые комплексы, участвующие в сборе солнечного света, соответственно, содержание хлорофилла в листьях прямо коррелирует с азотным статусом растений [6]. Количественные показатели развития ассимиляционного аппарата (площадь листовой поверхности, ее масса и степень насыщения хлорофиллом) являются определяющими факторами высокой продуктивности зерновых культур. Как отмечают [7, 8], концентрация зеленых пигментов в листьях определяет ассимиляцию углекислого газа и объем пластических веществ, формирующих зерно.

В связи с этим, когда необходимо скорректировать питание сельскохозяйственных культур, различные методы оценки азотного состояния растений, такие как определение содержания хлорофилла в листьях, представляют собой удобный и практичный способ оценки как физиологического состояния растений, так и их потребности в азоте [9, 10].

Цель исследований – выявить сортовые отличия в реакции пигментного комплекса листьев растений ячменя на некорневую обработку азотосодержащими препаратами.

Научная новизна: впервые в доступной нам научной литературе показано статистически значимое влияние генотипа растений на направление и уровень реакции пигментной системы листьев на дополнительное внесение азота; выявлено слабое воздействие азотной подкормки на накопление пигментов листьями ярового ячменя.

Материал и методы. Исследования проводили в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2020–2023 гг. в полевом опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, сформированной на элювии пермских глин. Пахотный слой почвы опытного участка характеризовался среднекислой реакцией среды – $pH_{сол}$ 4,59–5,00, содержанием подвижного фосфора – 148,0–157,0 мг/кг почвы и подвижного калия – 127,0–140,0 мг/кг почвы (по методу Кирсанова), гумуса – 1,74–2,00 % (по методу Тюрина). Изучали сорта ярового ячменя селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока: Новичок, Родник Прикамья и Памяти Родиной. Под предпосевную культивацию внесены минеральные удобрения NPKS (25 : 4 : 4 : 2) (АО «ОХК «УРАЛХИМ») в дозе 3 ц/га. В фазе кущения ярового ячменя (20–31 мая) проводили обработку посевов жидким минеральным удобрением КАС 28[1] («Спецхимагро», г. Кирово-Чепецк, Кировская обл.) (суммарное содержание N 360 г/л) в дозе 30 л/га и органоминеральным удобрением Полидон Амино Старт[2] («ПОЛИДОН® Агро», Москва) (содержание N 130 г/л) в дозе 1 л/га. Площадь делянки 15 м^2, повторность 4-кратная.

В фазу цветения (8–12 июля) в утренние часы отбирали пробы флаговых и подфлаговых листьев каждого сорта (25 листьев в 4-кратной повторности). Пигменты извлекали в лабораторных условиях в 3-кратной аналитической повторности (масса навески около 0,1 г) 100 %-м ацетоном в соответствии с протоколом [11]. Для предотвращения феофитинизации хлорофилла использовали небольшое количество $MgCO_3$. Далее в экстрактах оценивали содержание пластидных пигментов (хлорофиллов *a* и *b*, обозначаемых в тексте как *Chl a*, *Chl b*, и каротиноидов) по методике [12] с использованием спектрофотометра UVmini-1240 (SHIMADZU Corporation, Japan) при длинах волн 470, 644,8 и 661,6 нм. Содержание пигментов выражали в мг/г сухой массы растений.

В таблице 1 представлены данные о погодных условиях вегетационных сезонов 2020–2023 гг. на опытных полях ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров).

Таблица 1 – **Погодные условия вегетации ярового ячменя (Киров, 2020–2023 гг.) /**
Table 1 – **Weather conditions of spring barley vegetation (Kirov, 2020–2023)**

Год / Year	*Температура воздуха, °С / Air temperature, °C*	*Отклонение от среднемноголетней нормы, мм / Deviation from the average long-term norm, mm*	*Количество осадков, мм / Precipitation, mm*	*Процент от среднемноголетней нормы / Percent of the average long-term norm*
Май / May				
2020	12,2	+0,9	89	154
2021	15,0	+3,1	58	100
2022	8,5	-2,7	53	90
2023	13,8	+1,9	46	85
Июнь / June				
2020	15,3	-1,2	41	47
2021	19,9	+3,5	63	72
2022	16,0	-0,5	117	134
2023	14,1	-2,3	29	37
Июль / July				
2020	20,5	+1,6	100	110
2021	19,2	+0,3	92	101
2022	19,9	+1,0	53,9	59
2023	18,7	-0,2	180	220
Август / August				
2020	15,1	-0,5	61	73
2021	18,8	+2,9	38	46
2022	20,0	+4,1	18	22
2023	17,4	+1,5	16	21

[1]КАС (Карбамидно-аммиачная смесь). N 28%. СпецХимАгро – официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: https://spetshimagro.ru/product/kas-karbamidno-ammiachnaya-smes/?ysclid=mlj7f4u6b48323480 (дата обращения: 01.07.2025).

[2]Комплексные удобрения с аминокислотами. ПОЛИДОН® Амино Старт. Премьер-Агро – официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: https://pr-agro.ru/catalog/polidon-amino-start/ (дата обращения: 01.07.2025).

Для статистической обработки данных использовали методы описательной статистики в программе Microsoft Office Excel 2013 и трехфакторного дисперсионного анализа в пакете статистических программ Agros 2.05. Статистическую значимость отличий между сравниваемыми показателями оценивали при уровне $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Абсолютное содержание пигментов в листьях растений ярового ячменя значительно варьировало в зависимости от генотипических особенностей сортов и погодных условий лет выращивания, что можно видеть на примере данных, полученных в контрольном варианте опыта без обработок (табл. 2).

Таблица 2 – **Абсолютное содержание пигментов в листьях растений ярового ячменя контрольного варианта (мг/г сухой массы) /**
Table 2 – **Absolute pigment content in leaves of spring barley plants of the control variant (mg/g dry weight)**

Год / Year	*Новичок / 'Novichok'*	*Родник Прикамья / 'Rodnik Prikamya'*	*Памяти Родиной / 'Pamyaty Rodinoy'*
Chl a			
2020	5,57±0,03 / 6,13±0,07*	6,70±0,45 / 8,03±0,35	6,72±0,49 / 7,60±0,10
2021	11,45±0,69 / 11,04±0,11	10,77±0,22 / 11,44±0,25	9,91±0,47 / 11,05±0,19
2022	10,09±0,18 / 12,58±0,28	8,46±0,20 / 11,49±0,04	9,45±0,26 / 10,62±0,13
2023	8,95±0,33 / 11,44±0,11	9,04±0,21 / 11,39±0,13	7,97±0,27 / 8,91±0,18
Chl b			
2020	3,67±0,05 / 4,09±0,05	4,80±0,26 / 5,39±0,26	4,03±0,19 / 4,97±0,06
2021	5,97±0,03 / 6,46±0,15	5,93±0,12 / 6,53±0,13	5,50±0,33 / 6,28±0,28
2022	5,22±0,09 / 6,53±0,35	4,29±0,21 / 6,21±0,05	4,64±0,26 / 5,09±0,13
2023	4,44±0,25 / 5,27±0,25	4,42±0,29 / 5,56±0,34	3,66±0,29 / 3,99±0,21
Каротиноиды / Carotenoids			
2020	1,37±0,01 / 1,46±0,02	1,90±0,16 / 1,97±0,07	1,95±0,18 / 1,93±0,06
2021	3,24±0,29 / 2,92±0,05	3,01±0,11 / 3,08±0,13	2,83±0,08 / 2,96±0,08
2022	2,89±0,04 / 3,44±0,04	2,49±0,16 / 3,09±0,01	2,87±0,11 / 3,17±0,06
2023	2,64±0,10 / 3,40±0,08	2,62±0,08 / 3,32±0,05	2,55±0,05 / 2,70±0,04

* Флаговый лист/подфлаговый лист / *Flag leaf/second leaf

Условия года вегетации оказали основное влияние на изменчивость содержания хлорофиллов в листьях исследуемых сортов ячменя. Значительно более низкие показатели содержания *Chl a* в условиях 2020 г. могут быть объяснены более низкими температурами в течение 3-4 дней до момента взятия проб (средняя температура воздуха 10–12 °С). В условиях 2021–2023 гг. средняя температура воздуха в аналогичный период составила 18–27 °С, т. е. была значительно более благоприятной для накопления хлорофиллов.

Поэтому анализ относительных величин содержания пигментов (в процентах к контрольным вариантам) вместо абсолютных позволяет более корректно проводить сравнение эффективности воздействия препаратов на растения изучаемых сортов в различных условиях вегетации.

Примененные препараты для некорневой подкормки оказали значимое влияние на относительное содержание пигментов во флаговых листьях сортов ячменя (табл. 3).

Так, отмечено положительное влияние препарата КАС на изменение содержания *Chl a* у растений сорта Родник Прикамья (повышение на 7,9–11,2 %), отрицательное – у Памяти Родиной (снижение на 6,2–12,5 %); в основном положительное – у сорта Новичок (повышение на 4,0–10,4 % в три года из четырех, однако снижение на 20,2 % в 2021 г.).

Препарат Амино Старт не оказал значимого влияния на содержание *Chl a* у растений сорта Родник Прикамья, за исключением 2022 г. (снижение на 5,8 %). Реакция сортов Новичок и Памяти Родиной на препарат была очень схожа – в 2020 г. отмечено повышение содержания *Chl a* на 4,9–6,3 %, в 2021 и 2022 гг. – снижение на 5,7–14,6 %. В 2023 г. препарат не оказал влияния ни на один из сортов.

Существенным было влияние препаратов на изменение содержания другого пигмента – *Chl b* (табл. 4).

Таблица 3 – **Влияние некорневой обработки азотсодержащими препаратами на относительное содержание *Chl a* во флаговых листьях сортов ячменя (% к контролю без обработки) /**
Table 3 – **Effect of foliar treatment with nitrogen-containing products on the relative content of *Chl a* in flag leaves of barley cultivars (% of untreated control)**

Препарат / Preparation	*Год / Year*	*Новичок / 'Novichok'*	*Родник Прикамья / 'Rodnik Prikamya'*	*Памяти Родиной / 'Pamyaty Rodinoy'*
КАС 28 / CAS 28	2020	108,3*	109,1*	93,8*
	2021	79,8*	100,6	87,5*
	2022	110,4*	107,9*	89,5*
	2023	104,0*	111,2*	103,1
Амино Старт / Amino Start	2020	106,3*	98,2	104,9*
	2021	86,0*	99,1	85,4*
	2022	94,3*	96,2*	92,2*
	2023	100,8	101,3	102,8

Примечания: КАС 28 – карбамидно-аммиачная смесь, N 360 г/л, доза 30 л/га; Амино Старт – 130 г/л., доза 1 л/га; *Величина признака статистически значимо отличается от контроля при $p \leq 0,05$ /

Notes: CAS 28 – carbamide-ammiachnaya mixture, N 360 g/l, dose 30 l/ha; Amino Start – 130 g/l, dose 1 l/ha; * The value of the sign is statistically significantly different from the control at $p \leq 0.05$/

Таблица 4 – **Влияние некорневой обработки азотсодержащими препаратами на относительное содержание *Chl b* во флаговых листьях сортов ячменя (% к контролю без обработки) /**
Table 4 – **Effect of foliar treatment with nitrogen-containing products on the relative content of *Chl b* in flag leaves of barley plants (% of untreated control)**

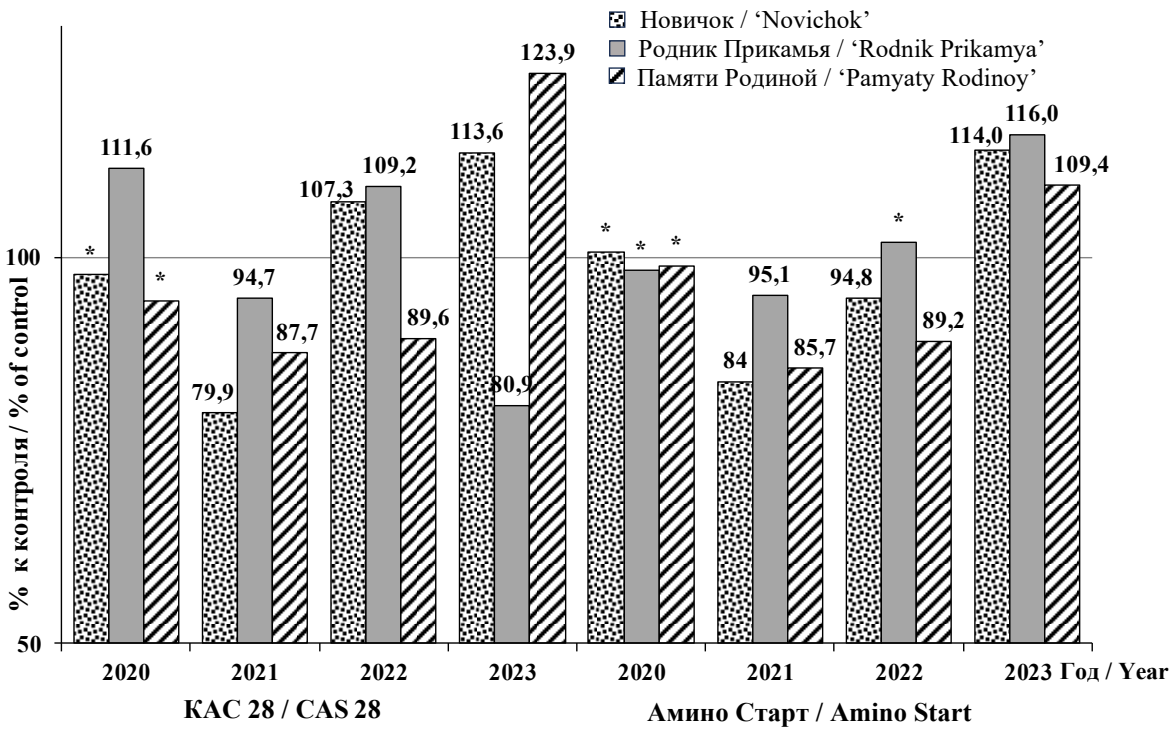
Препарат / Preparation	*Год / Year*	*Новичок / 'Novichok'*	*Родник Прикамья / 'Rodnik Prikamya'*	*Памяти Родиной / 'Pamyaty Rodinoy'*
КАС 28 / CAS 28	2020	118,3*	95,6*	96,0
	2021	84,4*	105,8*	86,3*
	2022	105,3*	110,0*	90,1*
	2023	96,9	109,5*	95,6*
Амино Старт/ Amino Start	2020	111,7*	90,4*	110,7*
	2021	94,6*	101,3	89,4*
	2022	86,9*	90,4*	93,1*
	2023	90,5*	89,4*	96,0

Примечания: см. табл. 3 / Notes: see table 3

Препарат КАС 28 в 2020 и 2023 гг. оказал разное влияние на изучаемые сорта – усилил синтез пигмента *Chl b* у одного сорта, ослабил у другого, и не повлиял на третий. В 2021 г. совпали реакции сортов Новичок и Памяти Родиной (снижение на 13,7–15,6 %), в отличие от Родник Прикамья (повышение на 5,8 %); в 2022 г. – сортов Новичок и Родник Прикамья (повышение на 5,3–10,0 %), Памяти Родиной показал противоположную реакцию (снижение на 4,4 %).

Препарат Амино Старт проявил в целом отрицательное влияние на относительное содержание *Chl b*. Статистически значимый положительный эффект препарата выявлен только в 2020 г. на сортах Новичок и Памяти Родиной (прибавка к контролю – 10,7–11,7 %), тогда как на растения Родник Прикамья препарат произвел негативное воздействие (снижение на 9,6 %). В 2022 г. препарат оказал отрицательное влияние на все три сорта – снижение показателей составило 6,9–13,0 %. В 2021 и 2023 гг. эффект либо отсутствовал, либо был отрицательным.

Совпадение реакции по относительному содержанию каротиноидов во флаговом листе трех сортов ячменя на некорневую обработку отмечено для препарата Амино Старт: отсутствие эффекта в 2020 г., снижение содержания пигмента в 2021 и 2022 гг. (на 4,9–16,0 %) и повышение в 2023 г. (на 9,4–16,0 %) (рис. 1).



* Отличия от контроля статистически незначимы / * Statistically insignificant differences from the control

Рис. 1. **Влияние некорневой обработки азотсодержащими препаратами на относительное содержание каротиноидов во флаговых листьях сортов ячменя (% к контролю без обработки) /**

Fig. 1. **Effect of foliar treatment with nitrogen-containing products on relative carotenoid content in flag leaves of barley cultivars (% of untreated control)**

Для препарата КАС 28 такое совпадение сортовой реакции было отмечено только в 2021 г. – все сорта снизили содержание каротиноидов на 5,3–20,1 %. В остальные годы реакция сортов была различной.

Проведенный трехфакторный дисперсионный анализ влияния факторов «год», «обработка» и «сорт» на относительное содержание пигментов во флаговых листьях ячменя показал, что эффект фактора «обработка» статистически значимо проявился в отношении зеленых пигментов (*Chl a* и *Chl b* соответственно 3,2 и 3,9 %), но не для желтых (каротиноидов). Доля влияния фактора «сорт» для *Chl a* составила 14,0 %, *Chl b* – 3,5 %, каротиноидов – 1,5 %. Фактор «год» наименее сильно повлиял на изменение содержания *Chl b* (14,5 %), доля влияния на остальные пигменты была примерно равной (41,6–41,7 %). Отмечено статистически значимое взаимодействие факторов «сорт» и «обработка», которое сильнее всего проявилось для *Chl b* (3,9 %). Это свидетельствует о том, что эффективность препарата в плане накопления листовых пигментов значимо зависит от конкретного генотипа растений.

Наиболее сильное воздействие препараты некорневого питания оказали на содержание *Chl a* в подфлаговых листьях сорта Новичок. Препарат Амино Старт в 2020 г. обеспечил прирост содержания пигмента на 9,3 % по сравнению с контролем без обработки, в остальные годы (2021–2023) отмечено его отрицательное влияние, снижение составило от 5,4 до 13,7 % (табл. 5). Препарат КАС 28 в 2020 г. также способствовал усилению накопления пигмента до 106,2 % от уровня контроля, однако в 2022 и 2023 гг. под его воздействием накопление пигмента снизилось на 3,6–6,6 %.

На относительное содержание пигмента *Chl a* в листьях сорта Родник Прикамья статистически значимое влияние оказал только препарат КАС 28 в 2020 г, приведя к резкому снижению показателя по сравнению с контролем (на 33,2 %). Этот же препарат в 2021 г. также привел к снижению (относительно контроля) накопления пигмента в листьях растений сорта Памяти Родиной, хотя и в меньшем масштабе (на 13,5 % от уровня контроля).

Препарат Амино Старт либо не влиял на содержание пигмента в листьях сорта Памяти Родиной (2020 и 2023 гг.), либо приводил к снижению его содержания (на 7,6–13,6 % в 2021 и 2022 гг.) по сравнению с контролем.

Таблица 5 – **Влияние некорневой обработки азотсодержащими препаратами на относительное содержание *Chl a* в подфлаговых листьях сортов ячменя (% к контролю без обработки) /**
Table 5 – **Effect of foliar treatment with nitrogen-containing products on the relative content of *Chl a* in the second leaves of barley plants (% of untreated control)**

Препарат / Preparation	*Год / Year*	*Новичок / 'Novichok'*	*Родник Прикамья / 'Rodnik Prikamya'*	*Памяти Родиной / 'Pamyaty Rodinoy'*
КАС 28/ CAS 28	2020	106,2*	66,8*	95,7
	2021	98,4	97,6	86,5*
	2022	93,4*	106,3	93,7
	2023	96,4*	106,6	105,5
Амино Старт/ Amino Start	2020	109,3*	93,8	90,7
	2021	94,6*	100,5	92,4*
	2022	86,3*	97,4	86,4*
	2023	89,4*	106,8	106,6

Примечания: см. табл. 3 / Notes: see table 3

Можно отметить различия между сортами по реакции пигментного комплекса подфлаговых листьев на некорневую обработку препаратом КАС в 2020 г. – повышение относительного содержания у сорта Новичок, снижение у Родник Прикамья и отсутствиеэффекта у Памяти Родиной.

Исследованные препараты для некорневой подкормки практически не повлияли на процессы накопления в подфлаговых листьях ячменя второй формы хлорофилла – *Chl b* (табл. 6). Статистически значимым было отклонение от контроля только в двух случаях – у сорта Родник Прикамья в 2020 г. препарат КАС 28 снизил уровень пигмента на 16,9 %, а препарат Амино Старт в 2022 г. – на 10,3 %.

Таблица 6 – **Влияние некорневой обработки азотсодержащими препаратами на относительное содержание *Chl b* в подфлаговых листьях сортов ячменя (% к контролю без обработки) /**
Table 6 – **Effect of foliar treatment with nitrogen-containing products on the relative content of *Chl b* in the second leaves of barley plants (% of untreated control)**

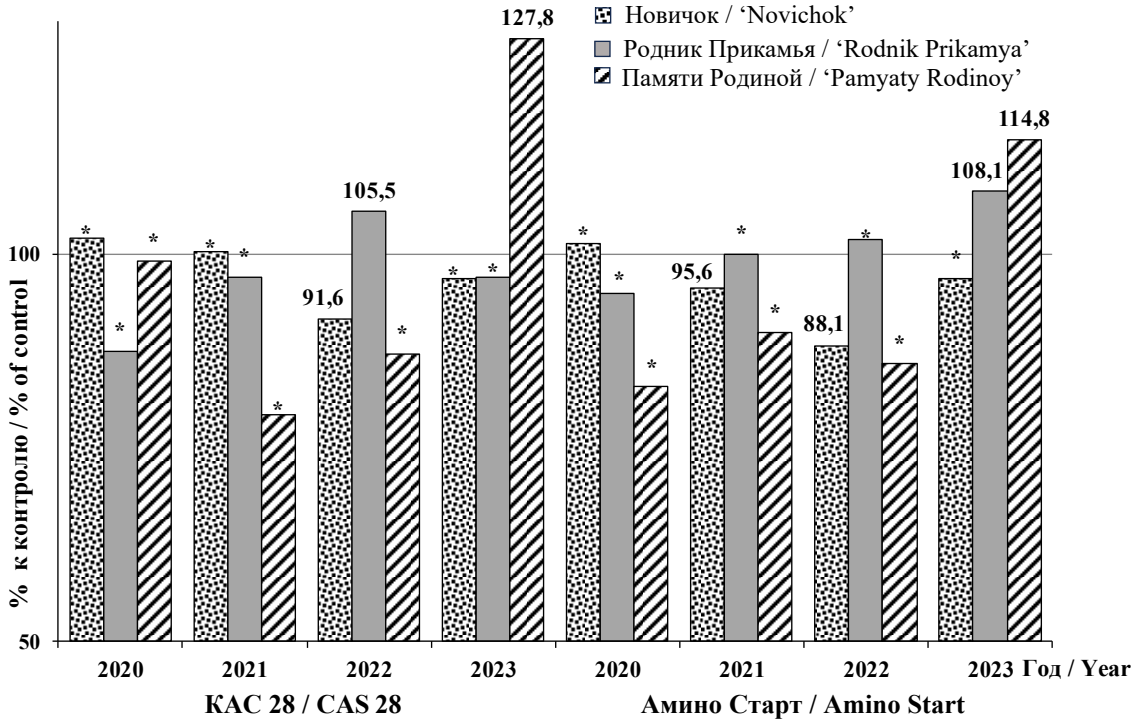
Препарат / Preparation	*Год / Year*	*Новичок / 'Novichok'*	*Родник Прикамья / 'Rodnik Prikamya'*	*Памяти Родиной / 'Pamyaty Rodinoy'*
КАС 28 / CAS 28	2020	110,5	83,1*	91,6
	2021	97,4	100,2	97,2
	2022	95,0	103,9	85,3
	2023	99,1	108,6	107,8
Амино Старт/ Amino Start	2020	115,9	92,4	99,2
	2021	94,1	103,5	97,6
	2022	82,5	89,7*	85,1
	2023	77,6	100,0	99,5

Примечания: см. табл. 3 / Notes: see table 3

На относительное содержание каротиноидов в подфлаговых листьях растений сорта Новичок препараты либо не влияли, либо воздействие было отрицательным (КАС 28 в 2022 г. привел к снижению на 8,4 %, Амино Старт в 2021 и 2022 гг. – на 4,4 и 11,9 %) (рис. 2).

В отличие от Новичка, влияние обработки на два других сорта в трех случаях привело к значимому повышению содержания каротиноидов: на сорт Родник Прикамья таким было влияние препарата КАС 28 в 2022 г. (прирост на 5,5 %) и Амино Старт в 2023 г. (на 8,1 %); на растения сорта Памяти Родиной оказал влияние препарат КАС 28 в 2023 г. (прибавка 27,8 %).

Наиболее ярко сортоспецифичность действия препарата КАС 28 проявилась в 2022 г. – сорт Новичок показал снижение содержания каротиноидов, Родник Прикамья – повышение, а Памяти Родиной – отсутствие влияния.



* Отличия от контроля статистически незначимы / * Statistically insignificant differences from the control

Рис. 2. **Влияние некорневой обработки азотсодержащими препаратами на относительное содержание каротиноидов в подфлаговых листьях сортов ячменя (% к контролю без обработки)** /

Fig. 2. **Effect of foliar treatment with nitrogen-containing products on the relative carotenoid content in the second leaves of barley cultivars (% of untreated control)**

Проведенный трехфакторный дисперсионный анализ (факторы: год, обработка и сорт) показал, что влияние фактора «обработка» в чистом виде проявилось только на фракции *Chl b* (доля влияния фактора 2,72 %). Влияние фактора «сорт» было статистически незначимо ни для хлорофиллов, ни для каротиноидов. Фактор «год» сильнее всего повлиял на содержание каротиноидов (24,6 %), доля влияния на остальные пигменты была примерно равной (9,6–11,5 %). Взаимодействие факторов «сорт» и «обработка» проявилось только на фракции каротиноидов и составило около 3 %.

Жидкое комплексное удобрение Полидон® Амино Старт достаточно широко применяется на различных зерновых культурах (например, озимой пшенице и ячмене), поскольку оно воздействует как на продуктивность, так и на качество получаемого зерна [13, 14. 15]. Содержание общего азота в удобрении составляет 130 г/л, что позволяет его рассматривать как дополнительный источник азота для растений.

Жидкое минеральное удобрение КАС 28 содержит одновременно нитратный, аммонийный и амидный азот ($N_{общ}$ 360 г/л); отсутствие в составе препарата свободного аммиака позволяет существенно снизить непроизводительные потери азота [16]. В литературе отмечено его стимулирующее влияние на содержание пигментов в листьях растений зерновых культур, в частности, пшеницы [17], риса [18], овса посевного [19].

Несмотря на то, что общее количество азота, которое может попасть в растение при некорневой подкормке препаратом КАС 28 в разы превышает количество азота в препарате Амино Старт (при использованной норме расхода препарата Амино Старт на один гектар площади посева приходится 130 г общего азота, у препарата КАС 28 – около 8,4 кг), закономерного отличия в действии этих препаратов не наблюдалось. Хотя в литературе отмечают повышение содержания хлорофилла в листьях с увеличением нормы азотных удобрений [20, 21], наши данные этого не подтверждают: даже когда оба препарата приводили к повышению уровня содержания пигментов, различие в их эффекте составляло всего несколько процентов. Одним из объяснений может быть то, что

в составе препарата Амино Старт присутствуют различные микроэлементы, а это, по мнению [22], значительно улучшает усвоение азота и активизирует метаболизм растений. Вторым предлагаемым объяснением могут служить различия в направлении использования дополнительного азота: на изменение содержания пигментов расходуется строго ограниченная часть этого элемента, тогда как остальная (бóльшая) расходуется на построение вегетативной массы. При этом эффективность работы фотосинтетического аппарата будет ограничиваться не содержанием пигментов, а наличием органов, запасающих и использующих образовавшиеся пластические вещества.

В литературе также отмечается, что сила и направление влияния некорневых подкормок азотом на накопление листовых пигментов может определяться условиями выращивания. Так, в трехлетнем опыте [14] с предпосевной обработкой семян озимой пшеницы препаратом Полидон® Амино Старт в среднем получено увеличение содержания общего хлорофилла на 8,8 % с варьированием по годам от повышения на 27,2 % до снижения на 3,1 %. Наши данные находятся в согласии с этими утверждениями. Результаты дисперсионного анализа показали ведущее влияние фактора «год» на накопление пигментов как во флаговом, так и в подфлаговом листьях, которое превышало влияние факторов «обработка» и «сорт» в несколько раз.

В нашей предыдущей работе [23] мы рассмотрели влияние некорневых обработок на содержание пигментов в среднем у трех сортов ярового ячменя, выведенных в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. В настоящей работе основной упор был сделан на генотипические особенности реакции растений ячменя на азотные подкормки. Такой подход к анализу материала показал, например, что усредненное снижение содержания *Chl a* в подфлаговом листе (табл. 6) под влиянием препарата КАС 28 в 2021 г. (на 6,0 % по сравнению с контролем без обработки) объясняется резким снижением содержания пигмента в листьях только одного сорта (Памяти Родиной – на 13,6 %) при отсутствии статистически значимого изменения у двух других.

В целом по опыту, за четыре года исследований применяемые препараты для некорневой обработки растений ярового ячменя показали различные по направлению и силе воздействия на накопление пигментов в двух верхних листьях. При этом у сортов Новичок и Родник Прикамья усиление и снижение накопления как хлорофиллов, так и каротиноидов во флаговых листьях могло происходить почти с равной вероятностью: из 24 вариантов опыта (4 года х 2 препарата х 3 типа пигментов) значимое превышение над контролем у сорта Новичок отмечено 10 раз, снижение – также 10 раз; у сорта Родник Прикамья – соответственно 9 и 8 раз. Однако у сорта Памяти Родиной отрицательное влияние обработок проявилось в 14, а положительное – только в 4 вариантах.

Интересным нам представляется и тот факт, что даже в условиях одного и того же года действие препаратов на накопление пигментов у разных сортов могло быть прямо противоположным: например, препарат КАС 28 повышал содержание *Chl a* во флаговых листьях сорта Родник Прикамья, но снижал у Памяти Родиной; в 2021–2023 гг. то же справедливо и для *Chl b*. Реакция сортов на обработку препаратом Амино Старт была более схожей в пределах одного года – содержание пигментов во флаговых листьях либо повышалось, либо снижалось у всех трех сортов. Исключением может быть 2020 г., когда содержание *Chl b* у сортов Новичок и Памяти Родиной возросло, а у Родник Прикамья – наоборот, снизилось. Таким образом, изменение направления воздействия препаратов КАС 28 и Полидон® Амино Старт на содержание листовых пигментов у растений ярового ячменя нельзя объяснить только влиянием условий выращивания.

Пигментные системы подфлагового листа ячменя были более устойчивы к влиянию некорневых обработок, при этом чаще реагировали растения сорта Новичок – отклонения от контрольных значений зафиксированы в 10 вариантах, причем только 2 из них – в положительную сторону. У сортов Родник Прикамья и Памяти Родиной существенные изменения в накоплении пигментов отмечены только в 5 и 4 вариантах, из них по 3 варианта привели к снижению уровня накопления пигментов. Можно отметить противоположные по направлению реакции сортов Новичок и Родник Прикамья на обработку препаратом КАС 28 по содержанию *Chl a* – у первого сорта оно повысилось, у второго – снизилось. Наиболее стабильным было содержание *Chl b*, его снижение от контрольных значений отмечено всего два раза у сорта Родник Прикамья: в 2020 г. под влиянием препарата КАС 28, в 2022 г. – Амино

Старт. Менее выраженный эффект использованных препаратов на пигментный комплекс подфлаговых листьев можно объяснить тем фактом, что подфлаговые листья к моменту отбора проб уже полностью развиты, тогда как у флаговых листьев (вследствие их более позднего образования) процессы роста и развития могли быть еще не завершены.

Заключение. Изменчивость содержания фотосинтетических пигментов при некорневой обработке листьев ячменя азотсодержащими препаратами в значительной степени определялась условиями года выращивания (доля прямого влияния фактора составила 14,5–41,7 % для флагового и 9,6–24,6 % для подфлагового листьев). Генотипические особенности сорта прямо влияли только на содержание пигментов во флаговом листе (доля влияния 1,5–14,0 %). Величина влияния фактора «обработка» (т. е. конкретного препарата) на содержание хлорофиллов флагового и подфлагового листьев составила 2,7–3,9 %. Изменчивость содержания каротиноидов в обоих листьях ячменя не зависела от некорневой обработки. Остальная доля изменчивости изучаемых признаков определялась двойными и тройными взаимодействиями факторов.

В целом по опыту, препарат КАС 28 оказал стимулирующий эффект на содержание *Chl a* и *Chl b* во флаговых листьях сортов Новичок и Родник Прикамья (значимая прибавка на 4–18 % к контролю), но депрессивное – у сорта Памяти Родиной (4–14 % ниже контроля). В то же время препарат Амино Старт повысил содержание хлорофиллов у сортов Новичок и Памяти Родиной (на 5–12 % к контролю) в условиях 2020 г. (когда была отмечена неблагоприятная для синтеза пигментов температура воздуха за несколько дней до отбора проб, что привело к значимому снижению общего содержания пигментов во всех вариантах опыта), но снизил на 10 % у сорта Родник Прикамья. В остальные годы препарат оказал скорее депрессивное действие на содержание хлорофиллов (на 4–15 % относительно контроля) у всех трех сортов.

В результате исследований установлено, что при некорневых обработках азотсодержащими препаратами накопление фотосинтетических пигментов существенно различается в зависимости от сорта: Новичок показывает высокую эффективность при использовании обоих препаратов (особенно в неблагоприятных погодных условиях фазы цветения); Родник Прикамья – при применении препарата КАС 28; сорт Памяти Родиной – Амино Старт.

References

1. Guo Z. P., Dong K., Zhu J. H., Dong Y. Effects of nitrogen fertilizer and intercropping on faba bean rust occurrence and field microclimate. Journal of Nuclear Agricultural Sciences. 2019;33(11):2294–2302. DOI: https://doi.org/10.11869/j.issn.100-8551.2019.11.2294

2. Zhang Z., Hu Z., Xie S., Riaz A., Zhang G., Ye L. Natural Variation in NIN-LIKE PROTEIN 4 Associated With Spike-Response to Nitrogen in Barley. Plant, Cell & Environment. 2025;48(7):5120–5132. DOI: https://doi.org/10.1111/pce.15497

3. Singh B., Buresh R. J., Peng S. Synchronizing nitrogen fertilizer application to crop nitrogen needs. Chapter from: Ladha J. K. (ed.) in book: Improving nitrogen use efficiency in crop production. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK, 2024. pp. 167–200. DOI: https://doi.org/10.19103/AS.2024.0135.10

4. Singh B., Sidhu A. S., Singh K., Kaur S. Implication of rate and time of nitrogen application on nitrogen status of barley plant in light textured soils. Journal of Agricultural Physics. 2024;24(2):307–312. URL: https://www.researchgate.net/publication/388614320_Implication_of_Rate_and_Time_of_Nitrogen_Application_on_Nitrogen_Status_of_Barley_Plant_in_Light_Textured_Soils

5. Jeager A., Zannin E., Sahin A. W., Arendt E. K. Barley protein properties, extraction and applications, with a focus on brewers' spent grain protein. Foods. 2021;10(6):1389. DOI: https://doi.org/10.3390/foods10061389

6. Peng S., Cassman K. G., Kropff M. J. Relationship between leaf photosynthesis and nitrogen content of field-grown rice in the tropics. Crop Science. 1995;35(6):1627–1630. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500060018x

7. Ионова Е. В., Газе В. Л., Лиховидова В. А. Фотосинтетическая деятельность и динамика накопления сухой массы растений озимой мягкой пшеницы в зависимости от условий выращивания. Зерновое хозяйство России. 2020;(1):23–27. DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-67-1-23-27 EDN: QUNKCQ

Ionova E. V., Gaze V. L., Likhovidova V. A. Photosynthetic activity and dynamics of dry mass of plants accumulation of winter soft wheat, depending on growing conditions. *Zernovoye khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2020;(1):23–27. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-67-1-23-27

8. Alazmani A. Evaluation of yield and yield components of barley varieties to nitrogen. The Intlernational Journal of Agriculture and Crop Sciences. 2015;8(1):52–54.
URL: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20153141840

9. Hamann F. A., Fiebig A., Noga G. Impact of Nitrogen Fertilization on Chlorophyll Content and Yield of Barley Cultivars Assessed by Fluorescence-Based Approaches. Canadian Journal of Agriculture and Crops. 2020;5(2):138–152. DOI: https://doi.org/10.20448/803.5.2.138.152

10. Трубников Ю. Н., Шпедт А. А., Соломенникова Ю. Н. Фотометрическая экспресс-диагностика азотного питания растений. Вестник КрасГАУ. 2023;(11):165–172.
DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-11-165-172 EDN: AXPRPR

Trubnikov Yu. N., Shpedt A. A., Solomennikova Yu. N. Photometric express diagnostics of nitrogen nutrition of plants. *Vestnik KraSGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2023;(11):165–172. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-11-165-172

11. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Extraction of Phtosynthetic Tissues:Chlorophylls and Carotenoids. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. New York: John Wiley and Sons, 2001. pp. F4.2.1–F4.2.6.
DOI: https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0402s01

12. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. New York: John Wiley and Sons, 2001. pp. F4.3.1–F4.3.8. DOI: https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01

13. Пономарева А. С., Коршунов А. А., Вознесенская Т. Ю., Рыжова Д. А. Эффективность применения органоминеральных удобрений с комплексом аминокислот на пшенице. Агрохимический вестник. 2019;(1):59–62. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10014 EDN: YXMDML

Ponomareva A. S., Korshunov A. A., Voznesenskaya T. Yu., Ri-zhova D. A. Efficiency of application of organomineral fertilizers with the complex of amino acids on wheat. *Agrokhimichesky vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(1):59–62. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10014

14. Семенюк О. В., Галушко Н. А. Влияние препаратов «Полидон Амино» на продуктивность и качество озимой пшеницы в условиях Северо-Кавказского региона. Таврический вестник аграрной науки. 2022;(4(32)):202–211. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=49982575 EDN: RRKFCM

Semenyuk O. V., Galushko N. A. Effect of Polydon® Amino preparations on the productivity and quality of winter wheat under conditions of the North Caucasus region. *Tavrichesky vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2022;(4(32)):202–211. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=49982575

15. Noskova E. N., Lisitsyn E. M., Shchennikova I. N., Svetlakova E. V. Top-dressing treatment of spring barley to modify its quality. Foods and Raw Materials. 2023;11(1):106–115.
DOI: https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-562

16. Sundaram P. K., Mani I., Lande S. D., Parray R. A. Evaluation of urea ammonium nitrate application on the performance of wheat. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2019;8(1):1956–1963. DOI: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.205

17. Kizilgeci F., Yildirim M., Islam M. S., Ratnasekera D., Iqbal M. A., Sabagh A. E. Normalized difference vegetation index and chlorophyll content for precision nitrogen management in durum wheat cultivars under semi-arid conditions. Sustainability. 2021;13(7):3725. DOI: https://doi.org/10.3390/su13073725

18. Ghosh M., Swain D. K., Jha M. K., Tewari V. K., Bohra A. Optimizing chlorophyll meter (SPAD) reading to allow efficient nitrogen use in rice and wheat under rice-wheat cropping system in eastern India. Plant Production Science. 2020;23(1):270–285. DOI: https://doi.org/10.1080/1343943X.2020.1717970

19. Баталова Г. А., Лисицын Е. М., Вологжанина Е. Н., Журавлева Г. П. Влияние дозы и времени обработки препаратом «КАС 28» на развитие растений овса. Таврический вестник аграрной науки. 2021;(4(28)):9–21. DOI: https://doi.org/10.33952/2542-0720-2021-4-28-9-21 EDN: OGFYTG

Batalova G. A., Lisitsin E. M., Vologzhanina E. N., Zhuravleva G. P. Effect of timing and dosage of “KAS 28” application on oat plants development. *Tavrichesky vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2021;(4(28)):9–21. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33952/2542-0720-2021-4-28-9-21

20. Muhammad I., Yang L., Ahmad S., Farooq S., Al-Ghamdi A. A., Khan A. et al. Nitrogen Fertilizer Modulates Plant Growth, Chlorophyll Pigments and Enzymatic Activities under Different Irrigation Regimes. Agronomy 2022;12(4):845. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy12040845

21. Воронкова Н. А., Волкова В. А., Цыганова Н. А., Балабанова Н. Ф. Влияние макроудобрений и стимуляторов роста на содержание хлорофилла в листьях яровой пшеницы. Плодородие. 2022;(1):17–21.
DOI: https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.124.05 EDN: VTRTCT

Voronkova N. A., Volkova V. A., Tsiganova N. A., Balabanova N. F. The content of chlorophyll in the leaves of spring soft wheat, depending on the root nutrition with macro-fertilizers and foliar growth stimulants. *Plodorodie*. 2022;(1):17–21. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.124.05

22. Seadh S. E., El-Abady M. I., El-Ghamry A. M., Farouk S. Influence of micronutrients foliar application and nitrogen fertilization on wheat yield and quality of grain and seed. Journal of Biological. Sciences. 2009;9(8):851–858. DOI: https://doi.org/10.3923/jbs.2009.851.858

23. Носкова Е. Н., Лисицын Е. М. Влияние некорневых подкормок органоминеральными удобрениями на содержание хлорофилла в листьях ячменя и его связь с показателями качества зерна. Агрохимия. 2024;(4):49–59. DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188124040062 EDN: DLWCMQ

Noskova E. N., Lisitsyn E. M. Effect of top-dressing on chlorophyll content in barley leaves and its relation to grain quality parameters. *Agrokhimiya*. 2024;(4):49–59. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188124040062

Сведения об авторах

✉ **Носкова Евгения Николаевна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, агрохимии и кормопроизводства, 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/0000-0002-4685-7865,** e-mail: noskova_evgeniya@mail.ru

Лисицын Евгений Михайлович, доктор биол. наук, заведующий отделом эдафической устойчивости сельскохозяйственных растений, 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/0000-0002-3125-3604**

Information about the authors

✉ **Evgeniya N. Noskova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Crop Farming, Agrochemistry and Forage Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166-a Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4685-7865, e-mail: noskova_evgeniya@mail.ru

Eugene M. Lisitsyn, DSc in Biology, Head of the Department of Plant Edaphic Resistance, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky,166-a Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3125-3604**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.129–139
УДК 633.491:631.8

Продуктивность сортов картофеля при использовании биоактивных препаратов на орошаемых почвах Северо-Западного Прикаспия

© 2026. Н. В. Тютюма, А. Н. Бондаренко✉
ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», с. Соленое Займище, Российская Федерация

Агроклиматические условия Нижневолжского региона благоприятны для реализации продуктивного потенциала сортов картофеля при их возделывании по интенсивным ресурсосберегающим технологиям. Цель исследования – оценить агрономическую эффективность использования биоактивных препаратов Форсаж и Биостим Старт при выращивании различных сортов картофеля в условиях капельного полива на светло-каштановых почвах Астраханской области (Северо-Западный Прикаспий). Исследования проводили в 2022–2024 гг. в полевом опыте на экспериментальном орошаемом участке. Объектами исследований являлись сорта Королева Анна, Гала (Германия) и Ажур (Россия). Сорт картофеля Ажур эффективнее использовал воду в орошаемых условиях (коэффициенты водопотребления – 63,0–85,5 м³/т) по сравнению с сортами Королева Анна (113,7–180,1 м³/т) и Гала (115,4–164,7 м³/т). Применение препарата Форсаж при обработке клубней и растений снижало водопотребление сортов, наиболее заметный результат получен по сорту Ажур (63,0 м³/т). По уровню прибавок биологической урожайности картофеля относительно контрольных вариантов (без обработок) лидировал препарат Форсаж – 8,2–10 т/га от обработки клубней до посева и 4,9–17,3 т/га от листовых обработок в фазу бутонизации. Эффект от биостимулятора Биостим Старт существенно ниже – 2,2–7,7 и 3,7–11,2 т/га соответственно. Результаты показали, что максимальная урожайность клубней картофеля сорта Ажур (94,3 т/га) получена при следующем сочетании приемов и способов применения препарата Форсаж и минеральных удобрений: предпосадочная обработка клубней Форсаж (2 л/т, расход рабочего раствора 10 л/т); внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ в почву до посева + N_{60} дробно при фертигации; листовая обработка Форсаж (200 л/га) в фазу бутонизации. Сорт картофеля Ажур по данному варианту превысил сорта Королева Анна и Гала по товарной урожайности – на 40,3 и 44,6 т/га и уровню рентабельности – на 192,0–212,8 %.

Ключевые слова: *Solánum tuberósum* L., *фертигация, ростостимулирующие препараты, водопотребление, урожайность, товарность, экономическая эффективность*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (тема № FNMW-2025-0007).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Тютюма Н. В., Бондаренко А. Н. Продуктивность сортов картофеля при использовании биоактивных препаратов на орошаемых почвах Северо-Западного Прикаспия. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):129–139. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.129-139

Поступила: 07.04.2025 Принята к публикации: 06.02.2026 Опубликована онлайн:27.02.2026

Productivity of potato cultivars under the use of bioactive preparations on irrigated soils of the North-Western Caspian region

© 2026. Natalia V. Tyutyuma, Anastasia N. Bondarenko✉
Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, s. Solenoe Zajmishhe, Russian Federation

Agroclimatic conditions of the Lower Volga region are favorable for realizing the productive potential of potato varieties cultivated using intensive resource-saving technologies. The aim of the study was to assess the agronomic effectiveness of bioactive preparations Forsage and Biostim Start when growing various potato cultivars in drip irrigation on light chestnut soils of the Astrakhan region (North-Western Caspian region). The studies were carried out in 2022–2024 in a field experiment on an experimental irrigated area. The objects of the research were the cultivars 'Koroleva Anna', 'Gala' (Germany) and 'Azhur' (Russia). The 'Azhur' potato cultivar used water more efficiently in irrigated conditions (water consumption factors – 63.0–85.5 m³/t) compared to the 'Koroleva Anna' (113.7–180.1 m³/t) and 'Gala' (115.4–164.7 m³/t) cultivars. The use of Forsage preparation in the treatment of tubers and plants reduced the water consumption of the cultivars, the most noticeable result was obtained for the 'Azhur' variety (63.0 m³/t). In terms of the increase in the biological yield of potatoes relative to the control variants (without treatment), the Forsage preparation showed the highest results – 8.2–10 t/ha from tuber treatment before sowing and 4.9–17.3 t/ha from leaf treatments in the budding phase. The effect of the biostimulator Biostim Start was significantly lower – 2.2–7.7 and 3.7–11.2 t/ha, respectively. The results showed that the maximum yield of 'Azhur' potato tubers (94.3 t/ha) was obtained with the following combination of methods and techniques of using the Forsage and mineral fertilizers: pre-planting treatment of tubers with Forsage (2 l/t, working solution consumption 10 l/t); application of $N_{60}P_{60}K_{60}$ to soil before sowing + N_{60} fractionally during fertigation; leaf treatment with Forsage (200 l/ha) in the

budding phase. The 'Azhur' potato cultivar, according to this variant, exceeded the 'Koroleva Anna' and 'Gala' varieties – by 40.3 and 44.6 t/ha in terms of commodity yield and by 192.0 –212.8 % in the level of profitability.

Keywords: *Solánum tuberósum* L.*, fertigation, growth promotion preparations, water consumption, yield, marketability, economic efficiency*

***Acknowledgments*:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education and of the Russian Federation within the state assignment of the Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (theme No. FNMW-2025-0007).

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

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

***For citations*:** Tyutyuma N. V., Bondarenko A. N. Productivity of potato cultivars under the use of bioactive preparations on irrigated soils of the North-Western Caspian region**.** *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):129–139. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.129-139

Received: 06.04.2025 Accepted for publication: 06.02.2026 Published online: 27.02.2026

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – самая важная в мире овощная культура и третья по значимости продовольственная культура после риса, пшеницы и кукурузы [1]. По мнению [2, 3], вода и удобрения – основные факторы, определяющие урожайность картофеля. Изучение реакции сорта на приемы возделывания [4, 5, 6, 7] и сравнительная оценка продуктивного потенциала различных сортов [8] в конкретных почвенно-климатических условиях – важнейшие задачи научного обеспечения картофелеводства.

Перспективным направлением на современном этапе аграрного производства является усовершенствование зональных технологий возделывания картофеля [9, 10]. Комплексные научные исследования направлены на оптимизацию водного режима почвы и адаптацию новых перспективных сортов картофеля отечественной селекции, обеспечивающих получение высокопродуктивного семенного материала [11]. В процессе совершенствования агротехнологий изучены различные схемы применения минеральных удобрений и перспективных регуляторов роста [12, 13, 14].

По результатам исследований И. О. Газдановой с соавт. [15] в предгорной зоне Республики Северная Осетия-Алания выявлено, что обработка клубней картофеля перед посадкой препаратами Эпин-экстра и Циркон в сочетании с минимальными дозами минеральных удобрений способствовала повышению урожайности, особенно при применении биостимулятора Эпин-экстра – урожайность достигла 33,7–39,1 т/га в зависимости от сорта картофеля.

Цель исследования – оценить агрономическую эффективность использования биоактивных препаратов Форсаж и Биостим Старт при выращивании различных сортов картофеля в условиях капельного полива на светло-каштановых почвах Северного-Западного Прикаспия.

Задачи научных исследований направлены на выявление эффективного сочетания вариантов допосадочной обработки клубней и листовых обработок биоактивными препаратами на показатели урожайности сортов картофеля при капельном поливе.

Научная новизна – впервые для условий Северного-Западного Прикаспия определено эффективное сочетание приемов и способов применения биоактивных препаратов и минеральных удобрений, позволяющее получить высокую и экономически обоснованную урожайность картофеля при капельном орошении.

Материал и методы. Исследования выполняли в 2022–2024 гг. в условиях полевого опыта на экспериментальном орошаемом участке землепользования ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» в аридных условиях Астраханской области.

Почва опытного участка – светло-каштановая среднесуглинистая**.** Содержание гумуса в пахотном слое (0–0,25 м) колеблется в пределах 1,0–1,8 % (по методу Тюрина), легкогидролизуемого азота – 6–9 мг (по методу Корнфилда), подвижного фосфора – 50 мг/кг и обменного калия – 500–550 мг/кг почвы (по методу Кирсанова). Пахотный слой почв характеризуется высокой плотностью (1,25–1,35 г/см^3) и низкой водопроницаемостью (0,30–0,40 мм/мин). Средняя глубина весеннего промачивания почвы составляет 0,40–0,45 м и варьирует от 0,30–0,35 м в засушливые до 0,80–1,0 м в благоприятные по увлажнению годы. Средний уровень залегания грунтовых вод составляет 15–20 м. Водовместимость метрового слоя почвы опытного участка составляет 479,4 мм, наименьшая влагоёмкость – 276,1 мм, из которой на долю продуктивной влаги приходится менее 100 мм.

Двухфакторный полевой опыт заложен методом расщепленных делянок в трехкратной повторности по общепринятой методике[1]. Площадь одной элементарной делянки составляла 70 м^2, площадь под вариантом – 210 м^2.

Объекты исследований – сорта картофеля[2]

Гала – среднеранний, столовый сорт немецкой селекции. Период созревания 65–70 дней. Регион допуска – Нижневолжский.

Королева Анна – раннеспелый, столовый сорт немецкой селекции. Период созревания 70–85 дней. Регион допуска – все регионы России, кроме Северного, Нижне-Волжского и Дальневосточного.

Ажур – среднеранний столовый сорт российской селекции с красивыми овальными клубнями товарного вида, хорошо хранится. Период созревания 70–80 дней. Регион допуска – Центральный.

Материал для изучения – биоактивные препараты[3]

Биостим Старт – аминокислотный биостимулятор, предназначенный для проращивания семян, клубней и луковиц. Состав: азот 4,5 %, фосфор 5 %, калий 2,5 %, магний 1 %, железо 0,2 %, марганец 0,2 %, цинк 0,2 %, медь 0,1 %, бор 0,1 %, молибден 0,01 %, аминокислоты 5,5 %, полисахариды 7 %. Препарат применяют непосредственно перед посадкой посевного материала. Семена замачивают в растворе препарата (5–10 мл/л воды) на 10–20 минут и просушивают.

Форсаж – жидкое комплексное органоминеральное удобрение, предназначенное для предпосевной обработки семян и клубней. Формула продукта представляет собой сбалансированный набор макроэлементов и микроэлементы в хелатной форме, обогащена аминокислотами, гуминовыми кислотами и комплексом органических кислот. Состав: азот 3,8 %, фосфор 3 %, калий 3 %, магний 0,1 %, железо 0,02 %, марганец 0,05 %, цинк 0,05 %, медь 0,1 %, бор 0,06 %.

Схема полевого опыта: Фактор А – сорта картофеля: Гала, Королева Анна, Ажур;

Фактор В – биоактивные препараты: аминокислотный биостимулятор Биостим Старт, жидкое комплексное органоминеральное удобрение Форсаж. Влияние биоактивных препаратов на продуктивность сортов картофеля изучали на фоне минеральных удобрений: $N_{60}P_{60}K_{60}$ (в почву) + N_{60} (дробно с поливными водами).

Варианты опыта

1. Контроль 1 – обработка по листу водой в фазу бутонизации.
2. Биостим Старт – обработка по листу в фазу бутонизации (расход препарата 200 л/га).
3. Форсаж – обработка по листу в фазу бутонизации (расход препарата 200 л/га).
4. Контроль 2 – предпосадочное опрыскивание клубней водой.
5. Биостим Старт – предпосадочное опрыскивание клубней (5 л/т, расход рабочего раствора 30 л/т).
6. Форсаж – предпосадочное опрыскивание клубней (2 л/т, расход рабочего раствора 10 л/т).
7. Биостим Старт – опрыскивание клубней + обработка по листу.
8. Форсаж – опрыскивание клубней + обработка по листу.

Учеты, наблюдения и измерения проводили с использованием общепринятых методик[4]. Обработка экспериментальных данных выполнена методом дисперсионного анализа. Водный баланс под посадками картофеля и коэффициент водопотребления по сортам определяли согласно методике[5].

Агротехника. Осеннюю вспашку выполняли мощным плугом ПЛН-4-35, агрегатированным с трактором МТЗ-1021 на глубину от 22 до 24 см. Весной проводили обработку почвы культиватором КПС-5 для уничтожения появившихся сорняков и разрыхления поверхностного слоя. После культивации в почву вносили минеральные удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ виде азофоски (16-16-16) с помощью разбрасывателя минеральных удобрений АНТС-1000t, агрегатированного с трактором МТЗ-1021.

[1]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. 5-е изд. М.: Агропромиздат, 1985. 351с.

[2]Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. 620 с.

[3]Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2025 год (утв. Минсельхозом России) (по состоянию на 23.05.2025).

[4]Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 4. Картофель, овощные и бахчевые культуры. Министерство сельского хозяйства РФ. М., 2015. 61 с.; Методическое руководство по проведению регистрационных испытаний агрохимикатов в сельском хозяйстве: производственно-практическое издание. Минсельхоз России. М., 2018. 132 с.

[5]Методы расчёта водных балансов: международное руководство по исследованиям и практике. Вклад в Международное гидрологическое десятилетие. Под ред. А. А. Соколова и Т. Г. Чапмена. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 120 с.

Остальную часть удобрений N_{60} вносили дробно в период вегетации через систему капельного орошения.

Для более равномерного распределения удобрений по полю повторную обработку почвы проводили фрезой Ф-200 в сцепке с трактором МТЗ-1021. Осуществляли посадку клубней картофеля картофелесажалкой КСМ-2Н, агрегатированной с МТЗ-1021. Одновременно с посадкой укладывали капельные ленты для орошения. Расстояние между лентами составляло 0,7 метра, густота посадки клубней – 47 000 шт. на гектар.

Система капельного орошения обеспечивала равномерное и экономное распределение воды, что является критически важным для получения высокого и качественного урожая картофеля в засушливых условиях Северо-Западного Прикаспия. Норма полива в период вегетации – 250 м^3/га.

Комплекс мер по защите растений включал обработку против вредителей, таких как колорадский жук и нарывник, с использованием препаратов: Каратэ Зеон, МКС; Вертимек, КЭ; Борей Нео СК. Для борьбы с проволочником применяли препарат Энлиль, КЭ. Для защиты от фитофтороза обработку проводили препаратами Фонданго, КЭ и Луна Экспириенс, КС в фазе клубнеобразования. Для обработки орошаемого участка от сорняков использовали гербициды Стомп, КЭ и Лазурит, КЭ.

Метеоусловия в период проведения исследований даны в таблице 1.

Таблица 1 – **Метеорологические условия периодов вегетации картофеля (по данным Черноярской метеостанции) /**
Table 1 – **Meteorological conditions of potato vegetation periods (according to Chernoyarsk meteorological station)**

Показатель / *Indicator*	*Месяц, декада / Month, decade*																	
	апрель / april			*май / may*			*июнь / june*			*июль / july*			*август / august*			*сентябрь/ september*		
	I	*II*	*III*	*I*	*II*	*III*	*I*	*II*	*III*	*I*	*II*	*III*	*I*	*II*	*III*	*I*	*II*	*III*
Среднесуточная температура воздуха, °С / Average daily air temperature, °С																		
Среднее многолетнее / Average long-term	8,2	10,9	12,8	15,5	17,2	19,4	21,3	23,5	24,3	24,8	25,7	25,6	25,4	24,9	22,4	19,8	17,1	14,9
2022–2024 гг.*	10,9	12,4	14,0	16,0	16,1	27,3	24,3	22,4	20,8	25,2	30,0	24,9	23,2	21,5	27,0	22,3	16,9	19,8
Осадки, мм / Precipitation, mm																		
Среднее многолетнее / Average long-term	5,7	6,0	8,6	7,9	10,8	8,9	7,6	9,0	11,2	7,8	8,4	5,9	5,7	5,2	5,6	7,0	7,9	7,4
2022–2024 гг.	11,2	1,1	3,2	0	24,5	2,6	0,3	7,2	0,9	0,3	6,1	2,0	3,8	7,3	0,8	0,5	0	0
Влажность воздуха, % / Air humidity, %																		
Среднее многолетнее / Average long-term	65,4	59,4	57,4	61,0	56,3	50,4	50,7	49,1	19,8	49,7	47,8	47,4	45,9	45,5	48,4	52	59	61
2022– 2024 гг.	78	53	56	60	64	39	36	54	53	37	38	44	39	45	44	52	46	49
Сумма активных температур > 10 °С / Sum of active temperatures > 10 °С																		
2022–2024 гг.	103,7	101,6	129,2	159,9	160,9	210,9	242,5	224,3	207,7	251,6	299,7	265,1	278,0	228,6	228,1	222,8	168,6	118,8
ГТК / Hydrothermal coefficient																		
2022–2024 гг.	0,5			0,5			0,1			0,1			0,2			0,0		

* В среднем за годы исследований / Average over the years of the research

Среднесуточная температура воздуха за апрель характеризовалась существенным отклонением (1,8 °С) от среднемноголетнего значения. Количество осадков существенно сократилось за этот период. За апрель суммарное количество осадков составило 15,5 мм, что меньше среднемноголетнего значения – 20,3 мм. Сумма активных температур за апрель была равна 334,5 °С.

За май выпало 27,6 мм осадков при среднемноголетнем значении 27,1 мм. Сумма активных температур составляла 531,7 °С, влажность воздуха – 54,3 %, гидротермический коэффициент (ГТК) – 0,5.

Осадков за июнь выпало всего 8,4 мм, что на 19,4 мм меньше среднемноголетнего значения. Среднесуточная температура 22,5 °С – чуть ниже климатической нормы. ГТК был равен 0,1. Сумма активных температур >10 °С в июне составила 674,5 °С.

Средняя температура воздуха июля достигла отметки 26,7 °С и на 1,4°С превысила стандартные показатели многолетних наблюдений (25,3 °С). Гидротермический коэффициент (ГТК) зафиксирован на уровне 0,1.

Среднесуточная температура воздуха в августе составила 23,9 °С при среднемноголетней 24,2 °С. Относительная влажность воздуха существенно отличалась от среднемноголетнего значения (42,7 %) и составляла 46,6 %. ГТК равен 0,2. Осадков выпало 11,9 мм.

Сентябрь также отличался малым количество осадков – 0,5 мм за месяц, что на 21,8 мм меньше среднемноголетнего значения.

Неблагоприятные погодные условия, особенно в летние месяцы, существенным образом повлияли на клубнеобразование изучаемых сортов, что в последствии отразилось на урожайности. В этой связи было увеличено число поливов в особенно важные фазы развития картофеля.

Результаты и их обсуждение. Картофель – растение, которое очень требовательно к условиям влагообеспеченности почвы. Важно отметить, что потребность во влаге меняется по фазам роста и развития. Критическим периодом абсолютно для всех сортов картофеля является начало цветения. Недостаток влаги в этот период приводит к сильному снижению урожая клубней. Даже весьма кратковременная засуха в фазе бутонизации, значительно снижает урожай клубней – на 20–25 %. Поэтому правильное и своевременное водоснабжение растений картофеля является важнейшим приемом увеличения урожайности культуры.

В среднем по трем годам исследований суммарное водопотребление составило 5944,0 м^3/га: на поливную воду пришлось 5083,0 м^3/га, или 85,5 %; на осадки в период «всходы – уборка» 725,0 м^3/га, или 12,2 %; на влагу, использованную из почвы 136 м^3/га, или 2,3 %.

Обработки препаратами Биостим Старт и Форсаж способствовали снижению коэффициента водопотребления по всем сортам относительно контрольных вариантов (табл. 2). Максимальные значения коэффициента водопотребления получили у сортов в контрольных вариантах опыта (без обработок изучаемыми препаратами) – от 85,5 до 180,1 м^3/т.

По результатам анализа урожайных данных и значений коэффициента водопотребления сортов картофеля выделены варианты применения биоактивных препаратов с меньшим расходом воды на формирование тонны продукции, а именно – обработка препаратами Биостим Старт и Форсаж в два этапа (предпосадочная – клубней; растений – в период бутонизации) на фоне $N_{120}P_{60}K_{60} + N_{60}$ по сорту картофеля Ажур. Коэффициент водопотребления находился на уровне 63,0–63,8 м^3/т. По итогам трех лет изучения, меньший расход воды (63,0 м^3/т) на формирование урожайности сорта Ажур (94,3 т/га) отмечали при обработке клубней и растений препаратом Форсаж.

Урожайность сортов картофеля. Величина урожайности является важнейшим показателем эффективности изучаемых агроприемов и их сочетаний, а также сортов. Основные показатели элементов структуры урожая сортов картофеля представлены в таблице 3.

По уровню прибавок биологической урожайности относительно контрольных вариантов лидирует препарат Форсаж – 8,2–10 т/га при обработке клубней и 4,9–17,3 т/га – по листу в фазу бутонизации, эффект от биостимулятора Биостим Старт существенно ниже – 2,2–7,7 и 3,7–11,2 т/га соответственно. Максимальные показатели прибавок урожая от действия биоактивных препаратов отмечены у сорта Ажур.

В среднем за годы исследований максимальная отдача изучаемых сортов по биологической урожайности достигнута при двукратной обработке (клубней и вегетирующих растений) препаратом Форсаж на фоне минеральных удобрений ($N_{120}P_{60}K_{60} + N_{60}$). Максимальный уровень биологической урожайности 94,3 т/га получен у сорта Ажур при товарной урожайности – 81,5 т/га, товарности – 86,5 % и средней массе клубня – 162,3 г. Эффективность Биостим Старт в этом варианте была менее выраженной.

Таблица 2 – **Урожайность и коэффициент водопотребления изучаемых сортов картофеля /**
Table 2 – **Yield and water consumption coefficient of the studied potato varieties /**

Сорт (фактор А) / Cultivar (factor A)		*Вариант применения препарата (фактор Б) / Variant of treatment (factor B)*	*Биологическая урожайность, т/га / Biological yield, t/ha*			*Коэффициент водопотребления, м³/т / Water consumption coefficient, m³/t*
			2022 г.	*2023 г.*	*2024 г.*	*среднее за 2022–2024 / average for 2022–2024*
Королева Анна / 'Koroleva Anna'	$N_{60}P_{60}K_{60} + N_{60}$	Контроль 1 (ОЛ H_2O) / Control 1 (LT H_2O)	31,4	33,2	34,5	180,1
		Биостим Старт (ОЛ) / Biostim Start (LT)	36,9	38,8	40,2	154,0
		Форсаж (ОЛ) / Forsage (LT)	39,3	41,2	43,1	144,3
		Контроль 2 (ОК H_2O) / Control 2 (TT H_2O)	35,7	37,7	39,5	158,1
		Биостим Старт (ОК) / Biostim Start (TT)	37,6	37,4	44,5	149,3
		Форсаж (ОК) / Forsage (TT)	42,3	46,9	48,1	129,8
		Биостим Старт (ОК + ОЛ) / Biostim Start (TT + LT)	48,4	50,6	53,8	116,8
		Форсаж (ОК + ОЛ) / **Forsage** (TT + LT)	51,7	53,6	51,7	113,7
Гала / 'Gala'	$N_{60}P_{60}K_{60} + N_{60}$	Контроль 1 (ОЛ H_2O) / Control 1 (LT H_2O)	30,8	37,4	40,0	164,7
		Биостим Старт (ОЛ) / Biostim Start (LT)	37,8	39,7	42,0	149,3
		Форсаж (ОЛ) / Forsage (LT)	38,8	40,7	44,3	143,9
		Контроль 2 (ОК H_2O) / Control 2 (TT H_2O)	35,9	37,8	46,5	148,2
		Биостим Старт (ОК) / Biostim Start (TT)	42,7	44,6	52,0	128,1
		Форсаж (ОК) / Forsage (TT)	45,6	47,3	54,4	121,1
		Биостим Старт (ОК + ОЛ) / Biostim Start (TT +LT)	43,5	45,4	56,8	122,3
		Форсаж (ОК + ОЛ) / **Forsage** (TT + LT)	46,8	48,7	59,0	115,4
Ажур / 'Azhur'	$N_{60}P_{60}K_{60} + N_{60}$	Контроль 1 (ОЛ H_2O) / Control 1 (LT H_2O)	68,3	60,9	79,4	85,5
		Биостим Старт (ОЛ) / Biostim Start (LT)	79,7	81,7	80,8	73,7
		Форсаж (ОЛ) / Forsage (LT)	86,2	88,1	86,0	68,5
		Контроль 2 (ОК H_2O) / Control 2 (TT H_2O)	77,8	79,8	82,4	74,3
		Биостим Старт (ОК) / Biostim Start (TT)	90,3	86,7	84,6	67,8
		Форсаж (ОК) / Forsage (TT)	92,5	89,8	87,7	66,0
		Биостим Старт (ОК + ОЛ) / Biostim Start (TT + LT)	91,5	93,0	95,1	63,8
		Форсаж (ОК + ОЛ) / **Force** (TT + LT)	92,8	94,3	95,8	63,0
		$НСР_{05}$ (А) / LSD_{05} (A)	12,4	13,3	15,8	-
		$НСР_{05}$ (Б) / LSD_{05} (B)	25,1	30,0	31,7	-
		$НСР_{05}$ (АБ) / LSD_{05} (AB)	15,4	19,3	19,4	-

Примечания: Влияние препаратов изучали при возделывании картофеля на фоне минеральных удобрений: $N_{60}P_{60}K_{60}$ (в почву) + N_{60} (дробно с поливными водами); ОК – предпосадочная обработка клубней; ОЛ – обработка по листу в фазу бутонизации /

Notes: The effect of the preparations was studied during potato cultivation against the background of mineral fertilizers: $N_{60}P_{60}K_{60}$ (into the soil) + N_{60} (fractionally with irrigation waters); TT (tuber treatment) – tuber treatment before planting; LT (leaf treatment) – leaf treatment in the budding phase

Таблица 3 – **Влияние биоактивных препаратов на показатели урожайности сортов картофеля (среднее за 2022–2024 гг.) /**
Table 3 – **The effect of bioactive preparations on the yield of potato cultivars (average for 2022–2024)**

$N_{60}P_{60}K_{60} + N_{60}$	*Вариант применения препарата / Variant of preparation use*	*Королева Анна / 'Koroleva Anna'*				*Гала / 'Gala'*				*Ажур / 'Azhur'*			
		средняя масса клубня с 1 растения, г / average tuber weight per 1 plant, g	*биологическая урожайность, т/га / biological yield, t/ha*	*прибавка к контролю, т/га / increase to control, t/ha*	*товарная урожайность, т/га / marketable yield, t/ha*	*товарность, % / marketability, %*	*средняя масса клубня с 1 растения, г / average tuber weight per 1 plant, g*	*биологическая урожайность, т/га / biological yield, t/ha*	*прибавка к контролю, т/га / increase to control, t/ha*	*товарная урожайность, т/га / marketable yield, t/ha*	*товарность, % / marketability, %*	*средняя масса клубня с 1 растения, г / average tuber weight per 1 plant, g*	*биологическая урожайность, т/га / biological yield, t/ha*	*прибавка к контролю, т/га / increase to control, t/ha*	*товарная урожайность, т/га / marketable yield, t/ha*	*товарность, % / marketability, %*
	Контроль 1 (ОЛ H_2O) / Control 1 (LT H_2O)	43,9	33,0	-	23,8	71,8	68,3	36,1	-	24,7	68,3	112,9	69,5	-	61,2	88,5
	Биостим Старт (ОЛ) / Biostim Start (LT)	75,7	38,6	5,6	28,7	74,4	82,4	39,8	3,7	30,8	77,5	118,0	80,7	11,2	66,6	82,6
	Форсаж (ОЛ) / Forsage (LT)	71,0	41,2	8,2	30,7	74,5	68,4	41,3	4,9	27,1	65,6	133,2	86,8	17,3	78,8	90,8
	Контроль 2 (ОК H_2O) / Control 2 (TT H_2O)	57,6	37,6	-	28,9	76,7	71,9	40,1	-	28,3	70,8	121,4	80,0	-	69,0	86,3
	Биостим Старт (ОК) / Biostim Start (TT)	59,3	39,8	2,2	32,9	**83,8**	63,3	46,4	6,3	32,2	69,6	152,2	87,7	7,7	81,2	87,6
	Форсаж (ОК) / Forsage (TT)	76,8	45,8	8,2	37,4	80,1	62,9	49,1	9,0	34,0	69,1	128,6	90,0	10,0	80,7	89,7
	Биостим Старт (ОК + ОЛ) / Biostim Start (TT + LT)	71,7	50,9	-	32,8	64,3	73,5	48,6	-	34,2	70,2	156,8	93,2	-	80,4	86,3
	Форсаж (ОК + ОЛ) / Force (TT + LT)	**77,5**	**52,3**	-	**41,2**	78,5	72,4	**51,5**	-	**36,9**	**71,6**	162,3	**94,3**	-	**81,5**	**86,5**

Примечания: Влияние препаратов изучали при возделывании картофеля на фоне минеральных удобрений: $N_{60}P_{60}K_{60}$ (в почву) + N_{60} (дробно с поливными водами);
ОК – предпосадочная обработка клубней; ОЛ – обработка по листу в фазу бутонизации /

Notes: The effect of the preparations was studied during potato cultivation against the background of mineral fertilizers: $N_{60}P_{60}K_{60}$ (into the soil) + N_{60} (fractionally with irrigation waters);
TT (tuber treatment) – tuber treatment before planting; LT (leaf treatment)– leaf treatment in the budding phase

Таблица 4 – **Влияние биоактивных препаратов на экономическую эффективность возделывания сортов картофеля (в среднем за 2022–2024 гг.) /**
Table 4 – **The effect of bioactive preparations on the economic efficiency of potato cultivars growing (average for 2022–2024)**

Вариант применения препарата / Variant of preparation use		*Королева Анна / 'Koroleva Anna'*			*Гала / 'Gala'*			*Ажур / 'Azhur'*		
		товарная урожайность, т/га / marketable yield, t/ha	*общие затраты, тыс. руб./га / total costs, thousand rub/ha*	*чистый доход, тыс. руб./га / net income, thousand rub/ha*	*товарная урожайность, т/га / marketable yield, t/ha*	*общие затраты, тыс. руб./га / total costs, thousand rub/ha*	*чистый доход, тыс. руб./га / net income, thousand rub/ha*	*товарная урожайность, т/га / marketable yield, t/ha*	*общие затраты, тыс. руб./га / total costs, thousand rub/ha*	*чистый доход, тыс. руб./га / net income, thousand rub/ha*
$N_{60}P_{60}K_{60} + N_{60}$	Контроль 1 (ОЛ H_2O) / Control 1 (LT H_2O)	23,8	351,2	267,6	24,7	353,2	289,0	61,2	434,0	1157,2
	Биостим Старт (ОЛ) / Biostim Start (LT)	28,7	359,6	386,6	30,8	363,9	436,9	66,6	436,8	1294,8
	Форсаж (ОЛ) / Forsage (LT)	30,7	368,0	430,2	27,1	357,7	346,9	78,8	448,2	1600,6
	Контроль 2 (ОК H_2O) / Control 2 (TT H_2O)	28,9	359,3	392,1	28,3	359,0	376,8	69,0	439,5	1354,5
	Биостим Старт (ОК) / Biostim Start (TT)	32,9	364,9	490,5	32,2	366,7	470,5	81,2	453,4	1657,8
	Форсаж (ОК) / Forsage (TT)	37,4	380,8	591,6	34,0	371,0	513,0	80,7	451,1	1647,1
	Биостим Старт (ОК + ОЛ) / Biostim Start (TT + LT)	32,8	370,0	482,8	34,2	369,9	519,3	80,4	453,1	1637,3
	Форсаж (ОК + ОЛ) / Forsage (TT + LT)	41,2	387,9	683,3	36,9	375,6	583,8	81,5	452,6	1666,4

рентабельность, % / profitability, %	
266,6	
296,4	
357,1	
308,2	
365,6	
365,1	
361,4	
368,2	

Примечания: Влияние препаратов изучали при возделывании картофеля на фоне минеральных удобрений: $N_{60}P_{60}K_{60}$ (в почву) + N_{60} (дробно с поливными водами): $N_{60}P_{60}K_{60}$ (в почву) + N_{60} (дробно с поливными водами). ОК – предпосадочная обработка клубней; ОЛ – обработка по листу в фазу бутонизации. Цена реализации за 1 кг картофеля 26 руб. /
Notes: The effect of the preparations was studied when cultivating potatoes against the background of mineral fertilizers: $N_{60}P_{60}K_{60}$ (into the soil) + N_{60} (fractionally with irrigation waters). TT– pre-planting treatment of tubers; LT– leaf treatment in the budding phase. Selling price for 1 kg of potatoes – 26 RUB

Экономическая эффективность возделывания сортов картофеля. Экономический анализ по итогам трех лет изучения показал, что наибольшая эффективность была достигнута благодаря двукратной обработке картофеля – до посадки клубней и по листу в период вегетации – препаратом Форсаж на фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ + N_{60} (фертигация) (табл. 4).

Максимальный уровень рентабельности 368,2 % получили при возделывании сорта Ажур, общие затраты на его производство составили 452,6 тыс. руб/га. Сорт Королева Анна по выделившемуся высокопродуктивному варианту показал уровень рентабельности – 176,2 %, сорт Гала – 155,4 %.

Заключение. В результате исследований (2022–2024 гг.) по оценке эффективности использования биоактивных препаратов Форсаж и Биостим Старт при выращивании различных сортов картофеля в условиях капельного полива на светло-каштановых почвах Астраханской области установлено следующее.

Меньшим расходом воды на формирование тонны продукции характеризовался сорт картофеля Ажур (коэффициент водопотребления по вариантам опыта – 63,0–85,5 $м^3$/т) по сравнению с сортами Королева Анна (113,7–180,1 $м^3$/т) и Гала (115,4–164,7 $м^3$/т). Обработки препаратами Биостим Старт и Форсаж способствовали снижению коэффициента водопотребления у всех сортов относительно контрольных вариантов без обработки. По итогам трех лет изучения меньший расход воды (63,0 $м^3$/т) на формирование урожайности сорта Ажур (94,3 т/га) отмечали при обработке препаратом Форсаж клубней перед посадкой и растений в фазу бутонизации.

По уровню прибавок биологической урожайности картофеля относительно контрольных вариантов лидировал препарат Форсаж – 8,2–10 т/га от обработки клубней до посева и 4,9–17,3 т/га от листовых обработок в фазу бутонизации. Эффект от биостимулятора Биостим Старт, применяемого по аналогичной схеме, существенно ниже – 2,2–7,7 т/га и 3,7–11,2 т/га соответственно. Максимальные показатели прибавок урожая от действия ростостимулирующих препаратов отмечены у сорта Ажур.

При возделывании картофеля сорта Ажур выявлено эффективное сочетание приемов и способов применения препарата Форсаж и минеральных удобрений: предпосадочная обработка клубней Форсаж (2 л/т, расход рабочего раствора 10 л/т); внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ в почву до посева + N_{60} (дробно при фертигации); листовая обработка Форсаж (200 л/га) в фазу бутонизации. В этих условиях сорт картофеля Ажур показал наиболее высокий уровень биологической урожайности 94,3 т/га при средней массе клубня 162,3 г. Товарная урожайность по данному сорту составила 81,5 т/га, доля товарных клубней от общего объема собранного урожая (товарность) – 86,5 %, что свидетельствует о высоком качестве урожая и минимальном количестве поврежденных или непригодных клубней. Экономический анализ подтвердил высокую рентабельность возделывания сорта Ажур по разработанной схеме в условиях капельного орошения – 368,2 %. Сорта Королева Анна и Гала в данном варианте по товарной урожайности уступали сорту Ажур на 40,3 и 44,6 т/га соответственно. При этом рентабельность их производства находилась на уровне 176,2–155,4 %. В целом, необходимо отметить, что все изучаемые варианты были весьма доходными с уровнем рентабельности от 76,2 до 368,2 %.

Таким образом, результаты исследования убедительно демонстрируют высокий коммерческий потенциал сорта Ажур при его возделывании в условиях капельного орошения по комплексной схеме применения удобрений и препарата Форсаж.

Список литературы

1. Kharumnuid P., Devarani L., Singh R. Growth Performance of Potato in India vis-à-vis North East India. Indian Journal of Extension Education. 2022;59(1):37–41. DOI: https://doi.org/10.48165/IJEE.2023.59108

2. Wang H., Cheng M., Liao Zh., Guo J., Zhan F., Fan J. et al. Performance evaluation of AquaCrop and DSSAT-SUBSTOR-Potato models in simulating potato growth, yield and water productivity under various drip fertigation regimes. Agricultural Water Management. 2023;276:108076. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108076

3. Rittl T., Grønmyr F., Bakken I., Løes A.-K. Effects of organic amendments and cover crops on soil characteristics and potato yields. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 2023;73(1):13–26. DOI: https://doi.org/10.1080/09064710.2023.2165963

4. Гериева Ф. Т., Моргоев Т. А., Дзедаев Х. Т., Бекмурзов Б. В. Агроэкологическое испытание перспективных сортов картофеля отечественной селекции в условиях Северо-Кавказского региона. Аграрный научный журнал. 2023;(2):11–17. DOI: https://doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp11-17 EDN: IFFIJM

5. Vejchar D., Stehlik M., Mayer V. Influence of tied ridging technology on the rate of surface runoff and erosion in potato cultivation. Agronomy Research. 2017;15(5):2207–2216. DOI: https://doi.org/10.15159/ar.17.039

6. Desai H., Thakkar K., Desai J. Adoption of potato cultivation technology by the potato growers under contract farming. Gujarat Journal of Extension Education. 2022;33(1):30–33.
DOI: https://doi.org/10.56572/gjoee.2022.33.1.0007

7. Алиярова Ш. Т., Магомедова А. А., Мусаева З. В. Продуктивность раннего картофеля в предгорной подпровинции Республики Дагестан. Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2018;(3):9–11.

8. Смирнова А. В. Сравнительная оценка продуктивности различных сортов картофеля на осушенной торфяной почве в кловиях Волго-Вятского региона. Адаптивное кормопроизводство. 2025;(1):33–41.
DOI: https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2025-1-33-41 EDN: XMTMUS

9. Плескачёв Ю. Н., Раменская О. Н. Влияние микробиологических удобрений азотовит и фосфатовит на продуктивность картофеля в Нижнем Поволжье. Аграрный научный журнал. 2018;(1):24–26.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32357270 EDN: CFLGOR

10. Бондаренко А. Н., Мухортова Т. В., Мягкова Е. Г. Возделывание картофеля при совместном капельном и спринклерном орошении – перспективная инновация для крестьянско-фермерских хозяйств аридной зоны. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016;(4(44)):97–105. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27674757 EDN: XHPTXH

11. Дубенок Н. Н., Болотин Д. А., Фомин С. Д., Болотин А. Г. Обоснование водного режима почвы при капельном орошении семенных посадок картофеля в Нижнем Поволжье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018;(3(51)):16–26.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36600032 EDN: YQTCMH

12. Кулыгин В. А. Влияние уровней минерального питания и увлажнения почв на продуктивность овощных культур и картофеля. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018;(2(30)):131–142.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34965680 EDN: OSOZXF

13. Рак М. В., Титова С. А., Пукалова Е. Н., Николаева Т. Г., Юхновец А. В., Артюх Ю. А. Эффективность некорневых подкормок жидкими микроудобрениями МикроСтим при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах. Почвоведение и агрохимия. 2018;(1(60)):180–192.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37157999 EDN: ZANBQL

14. Петров А. Ф., Галеев Р. Р., Гаврилец Н. В., Пастухова А. В., Кархардин И. В., Колбина О. Н. Влияние регуляторов роста на урожайность и качество картофеля. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2021;(2):62–72.
DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-59-2-62-72 EDN: YEGYLR

15. Газданова И. О., Гериева Ф. Т., Моргоев Т. А. Эффективность применения биостимуляторов «Эпин-экстра» и «Циркон» на посадках картофеля в агроэкологических условиях РСО-Алания. Аграрный вестник Урала. 2020;(8(199)):2–8. DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-199-8-2-8 EDN: IIMKWE

References

1. Kharumnuid P., Devarani L., Singh R. Growth Performance of Potato in India vis-à-vis North East India. Indian Journal of Extension Education. 2022;59(1):37–41. DOI: https://doi.org/10.48165/IJEE.2023.59108

2. Wang H., Cheng M., Liao Zh., Guo J., Zhan F., Fan J. et al. Performance evaluation of AquaCrop and DSSAT-SUBSTOR-Potato models in simulating potato growth, yield and water productivity under various drip fertigation regimes. Agricultural Water Management. 2023;276:108076.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108076

3. Rittl T., Grønmyr F., Bakken I., Løes A.-K. Effects of organic amendments and cover crops on soil characteristics and potato yields. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 2023;73(1):13–26. DOI: https://doi.org/10.1080/09064710.2023.2165963

4. Gerieva F. T., Morgoev T. A., Dzedaev Kh. T., Bekmurzov B. V. Agroecological testing of promising potato varieties of domestic selection in the conditions of the North Caucasus region. *Agrarny nauchny zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(2):11–17. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp11-17

5. Vejchar D., Stehlik M., Mayer V. Influence of tied ridging technology on the rate of surface runoff and erosion in potato cultivation. Agronomy Research. 2017;15(5):2207–2216. DOI: https://doi.org/10.15159/ar.17.039

6. Desai H., Thakkar K., Desai J. Adoption of potato cultivation technology by the potato growers under contract farming. Gujarat Journal of Extension Education. 2022;33(1):30–33.
DOI: https://doi.org/10.56572/gjoee.2022.33.1.0007

7. Aliyarova Sh. T., Magomedova A. A., Musaeva Z. V. Productivity of early potatoes in the foothill sub-province of the Republic of Dagestan. *Mezhdunarodny zhurnal prikladnikh nauk i tekhnology Integral* = International Journal of Applied Sciences and Technology Integral. 2018;(3):9–11. (In Russ.).

8. Smirnova A. V. Comparative assessment of the productivity of various potato varieties on drained peat soil in the conditions of the Volga-Vyatka region. *Adaptivnoe kormoproizvodstvo* = Adaptive Fodder Production. 2025;(1):33–41. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2025-1-33-41

9. Pleskachyov Yu. N., Ramenskaya O. N. Influence of microbilogical fertilizers azotovit and phosphatovit on potato productivity in the Lower Volga region. *Agrarny nauchny zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2018;(1):24–26. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32357270

10. Bondarenko A. N., Mukhortova T. V., Myagkova E. G. Potato cultivation at joint and drip irrigation sprinkler-promising innovations for peasant farms arid zone. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i visshee professionalnoe obrazovanie* = Proceedingsof Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education. 2016;(4(44)):97–105. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27674757

11. Dubenok N. N., Bolotin D. A., Fomin S. D., Bolotin A. G. Substantiation of the water regime of soil under drip irrigation of seed potato fields in the Lower Volga region. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i visshee professionalnoe obrazovanie* = Proceedingsof Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education. 2018;(3(51)):16–26. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36600032

12. Kuligin V. A. The influence of mineral nutrition status and soil moisture on vegetable crops and potato productivity. *Nauchny zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* = Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. 2018;(2(30)):131–142. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34965680

13. Rak M. V., Titova S. A., Pukalova E. N., Nikolaeva T. G., Yukhnovets A. V., Artyukh Yu. A. Efficiency of using non-root dressings with liquid microfertilizers Microsteam in the cultivation of agricultural crops on sod-podzolic soils. *Pochvovedenie i agrokhimiya* = Soil Science and Agrochemistry. 2018;(1(60)):180–192. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37157999

14. Petrov A. F., Galeev R. R., Gavrilets N. V., Pastukhova A. V., Karhardin I. V., Kolbina O. N. Influence of growth regulators on the yield and quality of potatoes. *Vestnik NGAU (Novosibirsky gosudarstvenny agrarny universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2021;(2):62–72. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-59-2-62-72

15. Gazdanova I. O., Gerieva F. T., Morgoev T. A. Efficiency of application of “Epin-extra” and “Zircon” biostimulants on potato landings in agroecological conditions of republic of North Ossetia-Alania. *Agrarny vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2020;(8(199)):2–8. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-199-8-2-8

Сведения об авторах

Тютюма Наталья Владимировна, доктор. с.-х. наук, член-корреспондент РАН, директор, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», ул. квартал Северный, д.8, с. Соленое Займище, Астраханская область, Российская Федерация, 416251, e-mail: pniiaz@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6582-2628

✉ **Бондаренко Анастасия Николаевна,** доктор. с.-х. наук, зав. лабораторией агротехнологий овощных культур, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», ул. квартал Северный, д. 8, с. Соленое Займище, Астраханская область, Российская Федерация, 416251,
e-mail: pniiaz@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4816-5667**, e-mail: bondarenko-a.n@mail.ru

Information about the authors

Natalia V. Tyutyuma, DSc in Agricultural Science, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kvartal Severny str. 8, s. Solenoe Zajmishhe, Astrakhan region, Russian Federation, 416251, e-mail: pniiaz@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6582-2628

✉ **Anastasia N. Bondarenko**, DSc in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Agricultural Technologies of Vegetable Crops, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 8 Kvartal Severny str., s. Solenoe Zajmishhe, Astrakhan region, Russian Federation, 416251, e-mail: pniiaz@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4816-5667, e-mail: bondarenko-a.n@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗООТЕХНИЯ/ZOOTECHNY

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.140–153
УДК 636.4:636.082

(cc) BY

Определение породоспецифичных SNP для генетической оценки дифференциации коммерческих пород свиней

© 2026. Т. С. Романец✉ [1], С. Ю. Бакоев[2], Е. А. Романец[1], М. А. Колосова[1], О. Н. Луконина[2], Н. В. Башмакова[2], В. Ф. Ахмедли[2], Л. В. Гетманцева[2]
[1]*ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», пос. Персиановский, Ростовская область, Российская Федерация,*
[2]*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», п. Лесные Поляны, Московская область, Российская Федерация*

Выявление специфических генетических маркеров, определяющих межпородные различия и «подписи селекции» в коммерческих породах свиней, позволит разработать более эффективные стратегии направленной селекции и улучшения генетического потенциала животных. Цель исследований – анализ полногеномных данных пяти коммерческих пород свиней с использованием метода индексной фиксации (FST) для выявления маркеров, характеризующих межпородную дифференциацию, а также оценка внутрипородной стратификации, обусловленной селекционным отбором. Особое внимание уделено выявлению потенциальных «подписей селекции», специфичных для каждой из пород. Проведена оценка генетической дифференциации между коммерческими породами свиней (дюрок, беркшир, пьетрен, гемпшир, ландрас) с использованием FST, рассчитанного на основе данных полногеномного генотипирования по однонуклеотидным полиморфизмам (SNP). Установлен умеренный уровень межпородных различий с наибольшими значениями FST для пар дюрок – беркшир (0,19), дюрок – пьетрен (0,18) и дюрок – ландрас (0,17); наименьшие различия отмечены между парой пьетрен – ландрас (0,14). Анализ распределения FST по геному позволил выделить высокодифференцированные SNP (выше 99-го квантиля), число которых варьировало от 126 до 167. Наибольшее их скопление зафиксировано на хромосомах SSC1, SSC13, SSC4 и SSC6, что указывает на наличие селективных «горячих точек», вероятно вовлечённых в регуляцию продуктивных и адаптивных признаков. Установлен ряд SNP, демонстрирующих повторяемость в нескольких межпородных сравнениях, что подчёркивает их породную специфичность и потенциальную функциональную значимость. Функциональная аннотация показала, что эти SNP локализованы в пределах генов, включая PCDHB7 и PPP2R2B, характеризующихся тканеспецифичной экспрессией в мышечной и жировой тканях, и вовлечённых в регуляцию метаболических процессов. Особый интерес представляет SNP ASGA0079413 в области гена TFEC, обнаруженный у породы ландрас. Учитывая его роль в дифференцировке пигментных клеток, предполагается его участие в формировании белой масти и в иммунных, и метаболических функциях.

Ключевые слова: *полногеномный анализ, FST, «подписи селекции», дюрок, беркшир, пьетрен, гемпшир, ландрас*

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23–76–10009, https://rscf.ru/project/23-76-10009/.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Романец Т. С., Бакоев С. Ю., Романец Е. А., Колосова М. А., Луконина О. Н., Башмакова Н. В., Ахмедли В. Ф., Гетманцева Л. В. Определение породоспецифичных SNP для генетической оценки дифференциации коммерческих пород свиней. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):140–153.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.140-153

Поступила: 25.05.2025 Принята к публикации: 05.02.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Identification of breed-specific SNPs for genetic assessment of differentiation of commercial pig breeds

© 2026. Timofey S. Romanets[1]✉, Sirozhdin Y. Bakoev[2], Elena A. Romanets[1], Maria A. Kolosova[1], Olga N. Lukonina[2], Natalia V. Bashmakova[2], Vagif F. Akhmedli[2], Lyubov V. Getmantseva[2]
[1]*Don State Agrarian University, Persianovsky, Rostov region, Russian Federation*
[2]*All Russian Research Institute of Animal Breeding, Lesnye Polyany village, Moscow Region, Russian Federation*

Identification of specific genetic markers that determine interbreed differences and "selection signatures" in commercial pig breeds will allow for the development of more effective strategies for targeted breeding and improvement of animal genetic potential. The aim of this study is to analyze the whole-genome data of five commercial pig breeds using the FST method to

identify markers that characterize interbreed differentiation, as well as to assess the intra-breed stratification caused by selective breeding. Special attention is given to identifying potential "selection signatures" that are specific to each breed. This study assessed the genetic differentiation among commercial pig breeds (duroc, berkshire, pietrain, hampshire, landrace) using the fixation index (FST), calculated based on genome-wide genotyping data for single nucleotide polymorphisms (SNPs). A moderate level of interbreed divergence was observed, with the highest pairwise FST values recorded for duroc – berkshire (0.19), duroc – pietrain (0.18), and duroc – landrace (0.17), while the lowest differentiation was noted between pietrain and landrace (0.14). Genome-wide FST distribution analysis enabled the identification of highly differentiated SNPs (above the 99th percentile), with their number ranging from 126 to 167 across comparisons. The greatest concentration of these SNPs was observed on chromosomes SSC1, SSC13, SSC4, and SSC6, indicating the presence of selective «hotspots» likely involved in the regulation of productivity – and adaptation-related traits. Several SNPs were consistently detected across multiple breed comparisons, highlighting their breed specificity and potential functional relevance. Functional annotation has revealed that these SNPs are located within genes, including PCDHB7 and PPP2R2B, which are characterized by tissue-specific expression in muscle and adipose tissues, and are implicated in the regulation of metabolic processes. Of particular interest is a SNP ASGA0079413 located within the TFEC gene, identified in Landrace pigs. Given its membership and its known role in pigment cell differentiation, this gene may contribute to the formation of white coat color, as well as to immune and metabolic functions.

Keywords: *genome-wide analysis, FST, «selection signatures», duroc, berkshire, pietrain, hampshire, landrace*

Acknowledgements: the research was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 23-76-10009, https://rscf.ru/project/23-76-10009/).

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 citations: Romanets T. S., Bakoev S. Y., Romanets E. A., Kolosova M. A., Lukonina O. N., Bashmakova N. V., Akhmedli V. F., Getmantseva L. V. Identification of breed-specific SNPs for genetic assessment of differentiation of commercial pig breeds. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):140-153. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.140-153

Received: 25.05.2025 Accepted for publication: 05.02.2026 Published online: 27.02.2026

Современное свиноводство требует постоянного совершенствования селекционных подходов, направленных на повышение продуктивности животных. Одним из ключевых направлений в этом аспекте является изучение генетической структуры коммерчески значимых пород, позволяющее обоснованно использовать генетические ресурсы в селекционных программах и повышать селекционный отклик [1, 2]. Генетическая дифференциация между коммерческими породами отражает исторические пути разведения, а также селекционное давление, направленное на улучшение признаков – скорость роста, качество мяса, устойчивость к заболеваниям и плодовитость [3, 4].

Коммерческие породы свиней, такие как дюрок, беркшир, гемпшир, пьетрен и ландрас, демонстрируют выраженные фенотипические различия, связанные с направленностью селекционных программ и их генетической структурой. Так, порода дюрок характеризуется высокими темпами роста и качеством мяса, породы ландрас и беркшир отбирались преимущественно по показателям плодовитости и мраморности мяса [5]. Тем не менее, несмотря на широкое применение данных пород в мировой практике, уровень их генетической дифференциации и внутрипородной стратификации до настоящего времени остаётся недостаточно исследованным [6].

Метод индексной фиксации (*fixation index*, FST), предложенный Б. С. Вейр и К. С. Кокерхэм (B. S. Weir and C. C. Cockerham) в 1984 году [7], является надёжным инструментом для оценки степени межпопуляционной дифференциации и выявления потенциальных «подписей селекции» (*selection signatures*) – участков генома, находящихся под действием отбора. Анализ FST в сочетании с определением полногеномных однонуклеотидных полиморфизмов *(Single Nucleotide Polymorphism*, SNP) позволяет не только определить генетическую дистанцию между коммерческими породами, но и выявить маркеры, ассоциированные с признаками, подвергшимися интенсивному отбору [8, 9].

В настоящем исследовании в качестве объекта анализа были выбраны пять пород свиней американской селекции – дюрок, беркшир, гемпшир, пьетрен и ландрас. Аналогичные исследования с использованием FST и полногеномных SNP-данных успешно применялись для изучения генетической структуры и выявления «подписей селекции» у других пород свиней, таких как китайские местные [10, 11, 12] и европейские [13, 14] породы, что позволило выявить гены, связанные с адаптацией к местным условиям и специфическими продуктивными признаками. Кроме того, анализ FST был использован для оценки генетической дифференциации и выявления селективных сигналов у крупного рогатого скота [15, 16],

овец [17] и кур [18], что привело к идентификации генов, отвечающих за молочную продуктивность, качество шерсти и устойчивость к заболеваниям. Эти исследования продемонстрировали эффективность FST-анализа для оптимизации селекционных программ и сохранения генетического разнообразия. Учитывая успешный опыт применения данного подхода в других популяциях сельскохозяйственных животных, изучение их генетической дифференциации, внутри- и межпородной структуры имеет важное значение для разработки более эффективных программ разведения и сохранения генетического разнообразия.

Цель исследований **–** анализ полногеномных данных пяти коммерческих пород свиней с использованием метода индексной фиксации для выявления маркеров, характеризующих межпородную дифференциацию, а также оценка внутрипородной стратификации, обусловленной селекционным отбором. Особое внимание уделено выявлению потенциальных «подписей селекции», специфичных для каждой из пород.

Научная новизна – впервые на основе данных полногеномного анализа пяти коммерческих пород свиней – дюрок, беркшир, гемпшир, пьетрен и ландрас – была проведена оценка межпородной дифференциации с использованием FST. В рамках работы выявлены породоспецифичные SNP и определены хромосомные регионы (SSC1, SSC13, SSC4 и SSC6), содержащие дифференцированные SNP, что указывает на наличие селективных «горячих точек», вовлеченных в регуляцию продуктивных и адаптивных признаков. Полученные результаты будут способствовать выявлению генетических маркеров, связанных с хозяйственно ценными признаками, разработке более эффективных стратегий селекции, нацеленной на повышение продуктивности и сохранение породной специфичности, а также позволят получить ценные сведения для дальнейших молекулярно-генетических исследований механизмов породообразования свиней коммерческих пород.

Материал и методы. В качестве объекта исследования были использованы данные генотипирования пяти популяций свиней пород дюрок, беркшир, гемпшир, пьетрен и ландрас (n = 100). Генотипы животных, полученные с использованием чипов *Illumina*, были загружены из открытого международного репозитория DRYAD [10]. Общий массив данных включал 52 783 однонуклеотидных полиморфизма с показателем качества прочтений (*call rate*) 96 %. Идентификацию однонуклеотидных полиморфизмов осуществляли по их идентификаторам (rsID) в базе данных NCBI dbSNP.

Предварительная обработка и анализ данных проведена с использованием статистической среды R и пакета PLINK (версия 1.9). На этапе фильтрации были применены следующие критерии качества (команды PLINK): исключались SNP с долей отсутствующих генотипов выше 10 % (--geno 0.1); SNP с минорной аллельной частотой менее 0,01 (--maf 0.01); индивидуумы с уровнем пропущенных данных, превышающим 10 % (--mind 0.1). Для исключения избыточно коррелированных маркеров была дополнительно проведена процедура отбора независимых SNP по скользящему окну длиной 50 SNP с шагом 5 и порогом LD в 0,5 (--indep-pairwise 50 5 0.5).

Степень генетической дифференциации между коммерческими породами оценивали на основе индекса фиксации, рассчитанного по методике Б. С. Вейр и К. С. Кокерхэм (B. S. Weir and C. C. Cockerham, 1984) [7]. Для анализа геномных данных использовали пакет PLINK 1.9, который реализует метод Вейр и Кокерхэм (Weir and Cockerham) для оценки генетической дифференциации на основе SNP-чипов. Были проведены попарные сравнения генетической дифференциации между всеми коммерческими породами свиней. Всего сформировали десять групп сравнения: дюрок – беркшир; дюрок – гемпшир; дюрок – пьетрен; дюрок – ландрас; беркшир – гемпшир; беркшир –пьетрен; беркшир – ландрас; гемпшир – пьетрен; гемпшир – ландрас; пьетрен – ландрас. Дальнейшую обработку и визуализацию результатов проводили с использованием языка программирования R 4.2.2 и пакетов ggplot2, dplyr и data.table. Для последующего анализа были отобраны SNP, значения FST которых превышали уровень квантиля 0,99, это позволило выделить генетические варианты с наибольшим вкладом в межпородную дифференциацию и потенциально находящиеся под действием селекционного давления. Идентифицированные генетические варианты переводили в геномные позиции Sus scrofa 11.1, используя базу данных Ensembl genome browser 109 (https://www.ensembl.org/index.html). Для оценки тканеспецифичности транскрипционной активности изученных генов использовали данные ресурса Bgee [19].

Результаты и их обсуждение. Для оценки степени генетической дифференциации между парами пород была рассчитана величина FST, отражающая уровень межпопуляционного различия частот аллелей. На рисунке 1 представлены как средние значения FST, так и взвешенные, позволяющие учесть неоднородность распределения маркеров по геному. Установлено, что степень генетической дифференциации варьирует в зависимости от сравниваемых породных пар, отражая различия в истории разведения, исходных генофондах и направленности селекционного отбора.

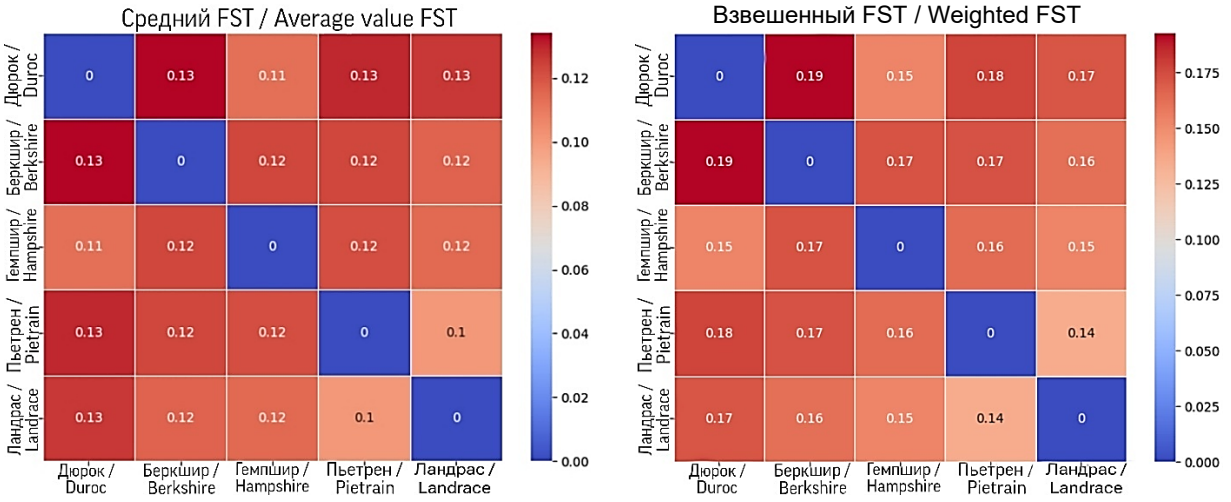


Рис. 1. **Среднее и взвешенное значение индекса фиксации (FST) между популяциями пяти коммерческих пород свиней /**

Fig. 1. **Average and weighted fixation index (FST) values between populations of five commercial pig breeds**

Взвешенные значения FST во всех группах сравнения получили выше соответствующих средних значений, что подчёркивает важность учёта аллельных частот и структуры выборки при интерпретации межпопуляционных различий. Такие оценки особенно важны при анализе данных геномного масштаба, поскольку плотность и информативность SNP могут существенно варьировать по различным регионам генома. Для дальнейшей оценки и выявления наиболее дифференцированных участков генома использовали взвешенные значения FST, поскольку они позволяют более точно отразить степень генетической дифференциации, учитывая неравномерное распределение SNP по геному, и потенциальное влияние плотности маркеров на расчет среднего значения.

Наибольший уровень генетической дифференциации наблюдали при сравнении пород дюрок – беркшир (взвешенный FST = 0,19), что отражает как различия в географическом происхождении, так и особенности селекционного давления. Сходный уровень FST установлен между парами дюрок – пьетрен (0,18), а также дюрок – ландрас (0,17), что подтверждает наличие породного разделения на генетическом уровне (FST > 0,25 считается высоким, 0,15–0,25 – умеренным, а <0,15 – низким).

Минимальные значения FST получены при сравнении пород пьетрен – ландрас (взвешенный FST = 0,14), что может свидетельствовать о близости генофондов, обусловленной частичным генетическим перекрытием на ранних этапах формирования пород и/или применением схожих методов отбора. Это согласуется с данными, представленными в исследовании Meyermans R. et al. (2020) [20], в котором также зафиксированы невысокие значения взвешенного FST между коммерческими породами пьетрен и ландрас (FST = 0,15). Кроме того, в этой же работе сообщается, что значение FST между породами дюрок и пьетрен американской селекции достигает 0,28, а между породами дюрок и ландрас – 0,22, что превышает аналогичные показатели, полученные в настоящем исследовании [21]. Данное расхождение может быть связано с генетическими различиями изучаемых популяций, а также с временным промежутком между исследованиями.

Таким образом, полученные значения FST отражают как исторически сложившиеся различия между коммерческими породами, так и особенности современных селекционных программ. Умеренный уровень генетической дифференциации между большинством групп сравнения свидетельствует о наличии породной

специфичности при сохраняющемся общем генетическом фоне, характерном для коммерческих популяций свиней. Представленные результаты подтверждают наличие межпородной генетической структуры и указывают на перспективность выявления породоспецифичных маркеров, потенциально ассоциированных с признаками продуктивности и адаптивности.

В целях более детального изучения локальных участков генома, вносящих наибольший вклад в межпородную дифференциацию, был проведён анализ распределения значений FST по отдельным SNP с выделением наиболее дифференцированных вариантов. Данный подход позволяет выявить SNP с максимальной степенью межпородной дифференциации и соответственно участки генома, в которых могут локализоваться маркеры, отражающие воздействие дивергентного селекционного давления [22].

Для каждой из десяти групп сравнений определяли SNP, значения индекса FST, в которых превышали порог квантиля 0,99, что соответствует верхнему одному проценту распределения и отражает наиболее дифференцированные участки, используемые для последующего анализа. Для визуализации распределения этих значений были построены графики типа «манхэттен-плот» по всем группам. На рисунке 2 представлен график для группы сравнения дюрок – ландрас, демонстрирующий локализацию SNP с наибольшей дифференцированностью вдоль хромосом.

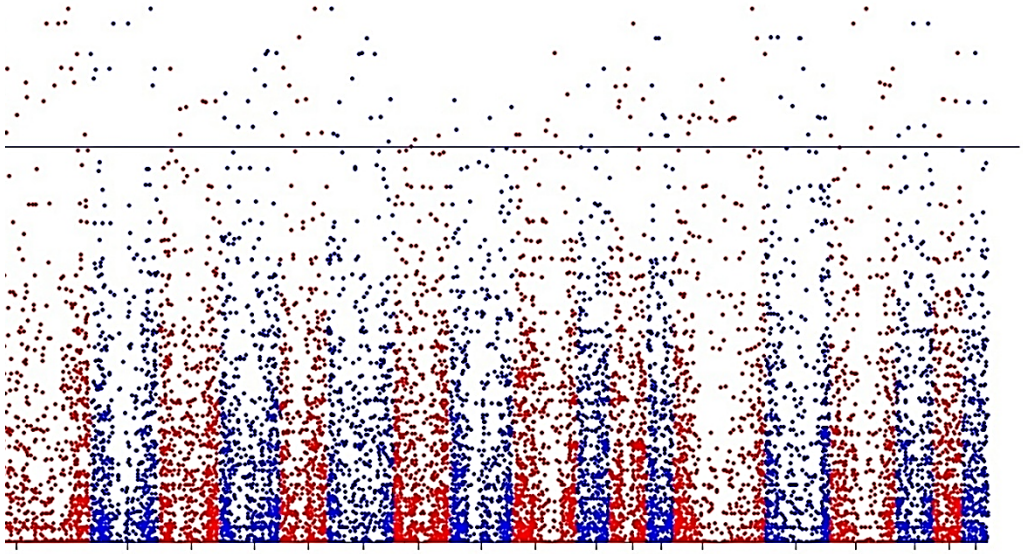


Рис. 2. **Манхэттен-плот распределения значений индекса фиксации (FST) для группы сравнения дюрок – ландрас. Горизонтальной линией отмечен порог 99-го квантиля, выше которого однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) отнесены к числу высокодифференцированных /**

Fig. 2. **Manhattan plot of the fixation index (FST) distribution for the duroc–landrace comparison group. The horizontal line indicates the 99th percentile threshold, above which Single Nucleotide Polymorphism (SNPs) are classified as highly differentiated**

Высокодифференцированные SNP в отдельных локусах могут свидетельствовать о действии направленного отбора, закрепившего альтернативные аллельные варианты в породах с разной продуктивной специализацией. Среди всех групп сравнения анализ количества SNP с FST выше порогового значения в разрезе хромосом показал неравномерное распределение дифференцирующих SNP по геному. В связи с этим, следующий этап исследований был направлен на оценку хромосомной локализации выявленных SNP и идентификацию участков генома, обладающих наибольшим вкладом в межпородную генетическую дифференциацию.

Анализ распределения SNP, превышающих порог 0,99-го квантиля по значениям FST, позволил количественно охарактеризовать вклад отдельных хромосом в межпородную дифференциацию. Результаты, представленные на рисунке 3, демонстрируют заметную гетерогенность по числу выявленных полиморфизмов между различными сравнениями пород и хромосомами.

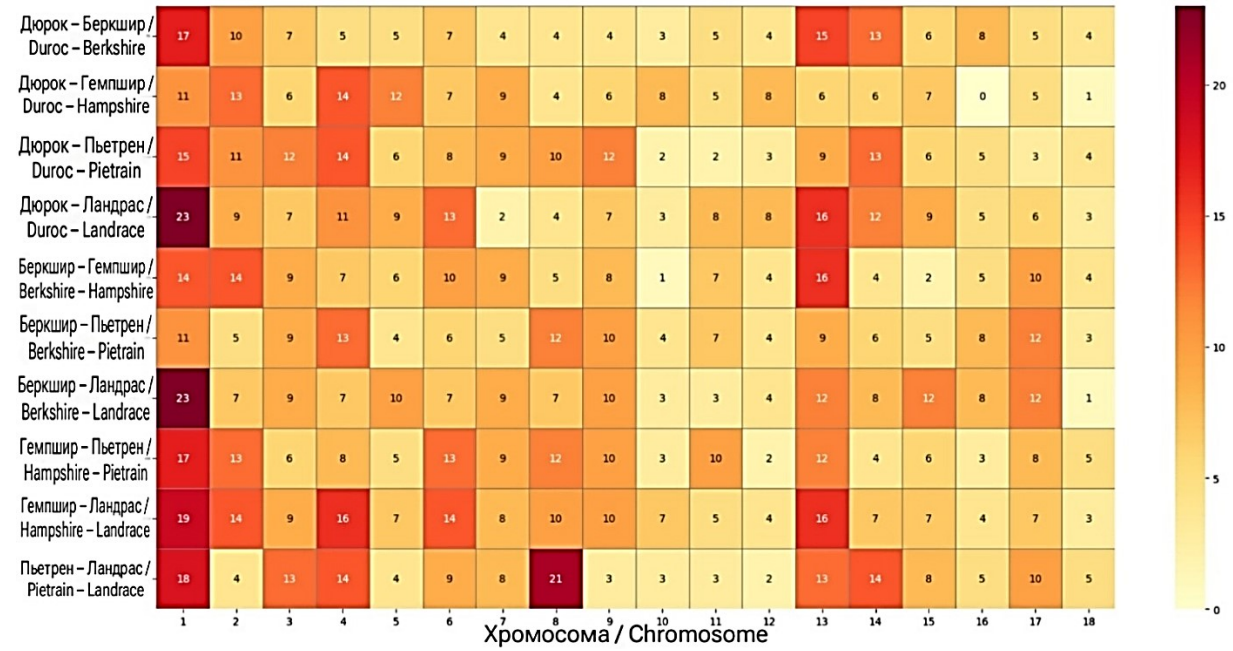


Рис. 3. **Хромосомное распределение дифференцирующих однонуклеотидных полиморфизмов (SNP), превышающих по значениям индекса фиксации (FST) порог квантиля 0,99 /**

Fig. 3. **Chromosomal distribution of differentiating Single Nucleotide Polymorphism (SNPs) exceeding the 99th percentile fixation index (FST) threshold**

Общее количество дифференцированных SNP в группах сравнения варьировало от 126 (дюрок – беркшир) до 167 (гемпшир – ландрас). При этом наиболее высокая концентрация SNP, демонстрирующих выраженную дифференциацию, отмечена на хромосомах SSC1 (168 SNP, 11,6 %), SSC13 (124 SNP, 8,6 %), SSC4 (109 SNP, 7,6 %) и SSC6 (94 SNP, 6,5 %), процентное отношение рассчитано от общего количества обнаруженных SNP (рис. 4). Данные хромосомы, вероятно, содержат локусы, вовлечённые в породообразование и/или подвергшиеся длительному действию направленного отбора в рамках селекционных программ.

Особенно выделяется хромосома SSC1, на которой для большинства групп сравнения было обнаружено наибольшее число дифференцирующих SNP, включая пары дюрок – ландрас (n = 23), беркшир – ландрас (n = 23) и гемпшир – ландрас (n = 19). Подобное распределение может свидетельствовать о наличии на данной хромосоме селективных «горячих точек», ассоциированных с признаками продуктивности или адаптивности.

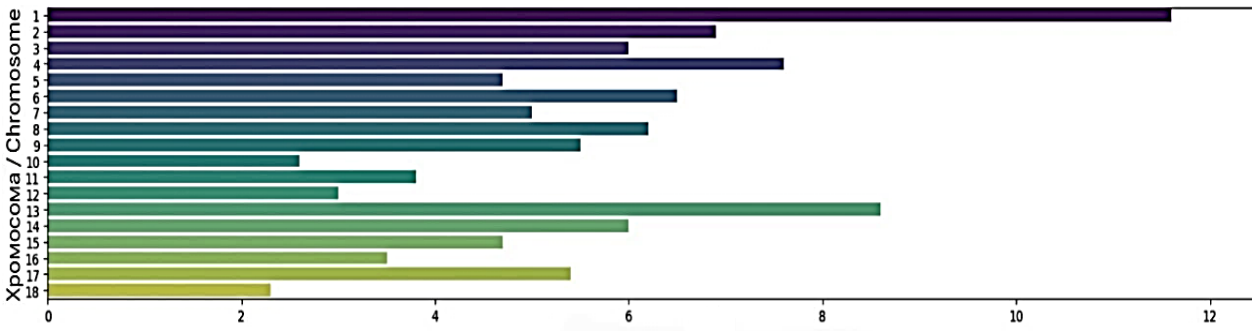


Рис. 4. **Хромосомное распределение однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) с наибольшими значениями индекса фиксации (FST) по результатам всех межпородных сравнений /**

Fig. 4. **Chromosomal distribution of Single Nucleotide Polymorphism (SNPs) with the highest fixation index (FST) values across all pairwise breed comparisons**

В то же время наименьшее количество значимых SNP выявлено на хромосомах SSC18 (n = 33, 2,3 %) и SSC10 (n = 37, 2,6 %), что может быть связано с меньшей плотностью генов, уровнем полиморфизма или ограниченным участием данных хромосом в межпородной дивергенции.

Таким образом, полученные результаты указывают на наличие хромосомной специфичности в паттернах дифференциации между изучаемыми породами, что представляет интерес для последующего поиска потенциальных генов-кандидатов.

Дополнительный анализ SNP (FST > 0,99 квантиля) позволил выявить ряд точек, демонстрирующих повторяемость в нескольких межпородных сравнениях, что может свидетельствовать об их потенциальной роли в формировании породной специфичности. В частности, для каждого из исследованных генотипов были выделены SNP, неоднократно встречающиеся в сравнениях с участием одной и той же породы, что указывает на их возможную селекционную значимость и вовлечённость в породообразующие процессы. Распределение таких маркеров по породам представлено в таблице 1. Для наглядности они сгруппированы по породной принадлежности, то есть отражают те SNP, которые с наибольшей вероятностью характеризуют генетическую специфику соответствующей породы.

Таблица 1 – **Специфичные однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) (индекс фиксации (FST) > 0,99 квантиля), определённые на основании повторяющегося присутствия в межпородных сравнениях /**
Table 1 **– Breed-specific Single Nucleotide Polymorphism (SNPs) (fixation index (FST) > 99th percentile) identified based on recurrent occurrence across pairwise breed comparisons**

Порода / Breed	*SNP*	*Группы сравнения / Comparison groups*		
Дюрок / Duroc	ALGA0007645	Дюрок – Гемпшир / Duroc – Hampshire	Дюрок – Пьетрен / Duroc – Pietrain	Дюрок – Ландрас / Duroc – Landrace
Дюрок / Duroc	ALGA0016417	Дюрок – Беркшир / Duroc – Berkshire	Дюрок – Пьетрен / Duroc – Pietrain	Дюрок – Ландрас / Duroc – Landrace
Дюрок / Duroc	DIAS0003555	Дюрок – Беркшир / Duroc – Berkshire	Дюрок – Гемпшир / Duroc – Hampshire	Дюрок – Пьетрен / Duroc – Pietrain
Дюрок / Duroc	ALGA0044071	Дюрок – Беркшир / Duroc – Berkshire	Дюрок – Пьетрен / Duroc – Pietrain	Дюрок – Ландрас / Duroc – Landrace
Беркшир / Berkshire	ASGA0050674	Дюрок – Беркшир / Duroc – Berkshire	Беркшир – Гемпшир / Berkshire – Hampshire	Беркшир – Ландрас / Berkshire – Landrace
Гемпшир / Hampshire	ALGA0015589	Беркшир – Гемпшир / Berkshire – Hampshire	Гемпшир – Пьетрен / Hampshire – Pietrain	Гемпшир – Ландрас / Hampshire – Landrace
Гемпшир / Hampshire	ALGA0111927	Беркшир – Гемпшир / Berkshire – Hampshire	Гемпшир – Пьетрен / Hampshire – Pietrain	Гемпшир – Ландрас / Hampshire – Landrace
Пьетрен / Pietrain	ASGA0093786	Дюрок – Пьетрен / Duroc – Pietrain	Беркшир – Пьетрен / Berkshire – Pietrain	Пьетрен – Ландрас / Pietrain – Landrace
Пьетрен / Pietrain	DRGA0008696	Дюрок – Пьетрен / Duroc – Pietrain	Беркшир – Пьетрен / Berkshire – Pietrain	Пьетрен – Ландрас / Pietrain – Landrace
Пьетрен / Pietrain	ALGA0068917	Дюрок – Пьетрен / Duroc – Pietrain	Беркшир – Пьетрен / Berkshire – Pietrain	Пьетрен – Ландрас / Pietrain – Landrace
Ландрас / Landrace	ALGA0008078	Беркшир – Ландрас / Berkshire – Landrace	Гемпшир – Ландрас / Hampshire – Landrace	Пьетрен – Ландрас / Pietrain – Landrace
Ландрас / Landrace	M1GA0001305	Дюрок – Ландрас / Duroc – Landrace	Беркшир – Ландрас / Berkshire – Landrace	Гемпшир – Ландрас / Hampshire – Landrace
Ландрас / Landrace	ASGA0019496	Дюрок – Ландрас / Duroc – Landrace	Беркшир – Ландрас / Berkshire – Landrace	Пьетрен – Ландрас / Pietrain – Landrace
Ландрас / Landrace	ASGA0079413	Дюрок – Ландрас / Duroc – Landrace	Гемпшир – Ландрас / Hampshire – Landrace	Пьетрен – Ландрас / Pietrain – Landrace

Наибольшее количество повторяющихся SNP (по четыре) было выявлено у свиней пород дюрок (ALGA0007645, ALGA0016417, ALGA0044071, DIAS0003555) и ландрас (ALGA0008078, ASGA0019496, ASGA0079413, M1GA0001305). Эти маркеры фиксировались в трёх различных межпородных сравнениях, что может свидетельствовать о стабильной фиксации соответствующих аллелей в данных породах и выраженной генетической дифференциации по отношению к другим генотипам. У породы пьетрен были выявлены три повторяющихся SNP, у гемпшир – два, у беркшир – один.

Повторяемость этих SNP указывает на их потенциальную селекционную значимость и подчёркивает породную обособленность в рамках проведённого анализа. Наличие одного и того же дифференцированного локуса в нескольких межпородных контрастах усиливает аргументы в пользу его возможной функциональной роли. Тем не менее, полученные результаты требуют дальнейшей валидации на расширенных выборках и в составе других популяций, что необходимо для уточнения ассоциаций с признаками продуктивности и адаптации.

Для дальнейшего уточнения возможной функциональной значимости выявленных повторяющихся SNP была проведена их аннотация с использованием данных геномной локализации и типов вариантов по классификации Ensembl. В таблице 2 представлены сведения о хромосомной позиции, типе варианта (интронный, в межгенном участке, в области перед геном (промоторной области)), локализации, а также аллельном составе – альтернативном и референсном аллелях.

Таблица 2 – **Геномные характеристики повторяющихся однонуклеотидных полиморфизмов (SNP), специфичных для исследуемых пород /**
Table 2 – **Genomic characteristics of recurrent Single Nucleotide Polymorphism (SNPs) specific to the studied breeds**

Порода / Breed	*SNP*	*Хромосома: Позиция / Chromosome: Position*	*Тип варианта / Variant type*	*Ген / Gene*	*Альтернативный аллель / Alternative allele*	*Референсный аллель / Reference allele*
Дюрок / Duroc	ALGA0007645	1:228812764	В межгенном участке / Intergenic variant	-	G	A
Дюрок / Duroc	ALGA0016417	2:142880954	В области перед геном / Upstream gene	*PCDHB7*	A	G
Дюрок / Duroc	DIAS0003555	2:147952931	Интронный / Intron	*PPP2R2B*	G	A
Дюрок / Duroc	ALGA0044071	7:106028315	В межгенном участке / Intergenic variant	-	G	A
Беркшир / Berkshire	ASGA0050674	11:41820246	В межгенном участке / Intergenic variant	-	G	A
Гемпшир / Hampshire	ALGA0015589	2:128473927	В межгенном участке / Intergenic variant	-	G	A
Гемпшир / Hampshire	ALGA0111927	13:13172438		-	C	A
Пьетрен / Pietrain	ASGA0093786	4:133217263	В межгенном участке / Intergenic variant	-	A	G
Пьетрен / Pietrain	DRGA0008696	8:93820555		-	G	A
Пьетрен / Pietrain	ALGA0068917	13:26469324	Интронный / Intron	*GASK1A*	A	C
Ландрас / Landrace	ALGA0008078	1:248269167	В межгенном участке / Intergenic variant	-	A	G
Ландрас / Landrace	M1GA0001305	1:244526105		-	G	A
Ландрас / Landrace	ASGA0019496	4:43343225		-	C	A
Ландрас / Landrace	ASGA0079413	18:30131969	Интронный / Intron	*TFEC*	G	A

Из данных таблицы 2 видно, что большинство выявленных SNP локализованы в межгенных участках (*intergenic variant*), что не исключает их потенциальную регуляторную роль. При этом ряд SNP расположен в интронных (*intron variant*) или прилегающих к генам участках (*upstream gene variant*). Так, SNP ALGA0016417, специфичный для породы дюрок, классифицирован как *upstream gene variant* гена *PCDHB7*, тогда как DIAS0003555 расположен в интронной области гена *PPP2R2B*, также характерного для данной породы. У пьетрен SNP ALGA0068917 попадает в интрон гена *GASK1A*, у ландрас SNP ASGA0079413 локализован в интронной области гена *TFEC*. Варианты *intron variant* и *upstream gene variant* обладают значительным потенциалом как функциональные маркеры, они способны оказывать влияние на транскрипционную активность, сплайсинг, структуру хроматина,

а также на взаимодействие с эпигенетическими и трансрегуляторными механизмами, и, следовательно, могут быть вовлечены в формирование различий между коммерческими породами, особенно в аспекте количественных продуктивных признаков.

Помимо структурной локализации вариантов, таблица 2 содержит данные о различиях между альтернативными и референсными аллелями. Альтернативный аллель соответствует варианту, зафиксированному в исследуемой породе, тогда как референсный представляет последовательность стандартного генома *Sus scrofa* (Sscrofa11.1). Сравнение этих аллелей позволяет более точно интерпретировать характер межпородных различий на молекулярном уровне и выявлять селективно значимые позиции, устойчиво отличающие породы друг от друга.

Таким образом, представленные SNP характеризуются высокой степенью межпородной дифференциации, устойчивой повторяемостью в контрастах, а также локализацией в потенциально функционально значимых участках генома. Эти особенности обосновывают целесообразность их дальнейшего включения в ассоциативные и функциональные исследования, направленные на выявление молекулярных механизмов продуктивности и породной специфичности у свиней.

Для оценки тканеспецифичности транскрипционной активности изученных генов были использованы данные ресурса Bgee [19], в котором уровень экспрессии (Expression score) представляет собой интегрированный количественный показатель гена в конкретной ткани или органе. Этот показатель рассчитывается на основе нормализованных и агрегированных транскриптомных данных из различных источников (включая RNA-Seq, Affymetrix, in situ hybridization и др.), прошедших строгую фильтрацию на биологическую достоверность.

Один из повторяющихся SNP, специфичных для породы дюрок (ALGA0007645, хромосома 1, позиция 228812764), аннотирован в области гена *PCDHB7* (*protocadherin beta 7*, ENSSSCG00000036961), принадлежащего к семейству протокадгеринов (PCDH) – кальций-зависимых белков клеточной адгезии, играющих ключевую роль в формировании межклеточных контактов и функционировании нервной системы. Согласно данным базы Bgee, наибольшая транскрипционная активность гена *PCDHB7* у свиней выявлена в подкожной жировой ткани (уровень экспрессии = 60,24), яичниках (53,81), большой поясничной мышце (*musculus psoas major*, 50,33), длиннейшей мышце грудного отдела (*musculus longissimus thoracis*, 41,80), а также в 23 других тканях [19]. Эти данные могут свидетельствовать о потенциальном участии данного гена в регуляции метаболических процессов в мышечной и жировой тканях.

Независимые исследования на модельных организмах и у человека подтверждают потенциальную функциональную значимость гена *PCDHB7*. В частности, у мышей с индуцированным ожирением, вызванным диетой с высоким содержанием жиров, зафиксировано повышение экспрессии гена *PCDHB7* в эндотелиальных клетках, входящих в сигнатуру активации ангиогенеза и межклеточной адгезии [23]. Более того, аналогичные участки были ассоциированы с признаками ожирения у человека: в исследовании С. Мун с соавт. (S. Moon et al., 2017) выявлен CNV-локус, перекрывающий *PCDHB7* и *PCDHB8*, достоверно связанный с ожирением как у детей, так и у взрослых. Комбинированный анализ вариаций числа копий (CNV) и данных секвенирования экзома продемонстрировал высокую статистическую значимость ассоциации с индексом массы тела (значение критерия Фишера: $P = 3{,}76\times10^{-5}$), что указывает на возможную регуляторную или структурную роль указанных генов в метаболических процессах [24]. Таким образом, выявленный SNP, специфичный для породы дюрок и локализованный в области гена *PCDHB7*, может представлять интерес с точки зрения селекционной направленности на мясную продуктивность, а также требует дальнейшего изучения в аспекте полиморфизма и экспрессии данного гена в контексте межпородной дифференциации.

Другой SNP, специфичный для породы дюрок – ALGA0096329 (хромосома 2, позиция 147 952 931), локализован в области гена *PPP2R2B* (*protein phosphatase 2 regulatory subunit Bβ*, ENSSSCG00000028976), кодирующего регуляторную субъединицу протеинфосфатазы 2A (PP2A) – одного из ключевых серин-треонин-фосфатазных комплексов, участвующих в регуляции клеточного цикла, роста и сигнальных каскадов. Изоформа Bβ преимущественно экспрессируется в нейрональных клетках, где регулирует дефосфорилирование белков в центральной нервной системе. Согласно данным базы Bgee, у свиней наибольшая транскрипционная активность *PPP2R2B* зафиксирована в под-

кожной жировой ткани (expression score = 43,86), большой поясничной мышце (*musculus psoas major,* 41,77), длиннейшей мышце спины (*musculus longissimus dorsi*, 35,02), а также в 25 других тканях организма [19].

Функциональные исследования, проведённые на других видах сельскохозяйственных животных, подтверждают биологическую значимость гена *PPP2R2B*. Так, у китайской популяции коров голштинской породы полиморфизмы в *PPP2R2B* достоверно ассоциированы с показателями молочной продуктивности. В частности, однонуклеотидный полиморфизм 7:g.57855248C>T был связан с надоем молока, выходом молочного жира и белка в первую лактацию, с содержанием жира – во вторую; полиморфизм 7:g.57855119T>C – с выходом и массовой долей белка; 7:g.57794491G>T – с выходом жира и объёмом молока [25]. Несмотря на межвидовые различия, наличие достоверных ассоциаций с метаболическими признаками, наряду с тканеспецифичной экспрессией гена в жировой и мышечной тканях у свиней, позволяет предположить его плейотропное влияние на продуктивные качества.

Таким образом, SNP ALGA0096329, выявленный у свиней породы дюрок и локализованный в области гена *PPP2R2B*, является интересным кандидатом для дальнейшего изучения его возможной роли в контексте селекции на мясную продуктивность. Учитывая его экспрессию в ключевых тканях, вовлечённых в формирование мышечной массы и жировых отложений, а также предполагаемое участие в нейроэндокринной регуляции метаболических процессов, можно предположить, что данный геномный участок может влиять на продуктивные признаки свиней. Однако для подтверждения этой гипотезы, необходимо проведение дальнейших исследований, направленных на изучение генетической ассоциации полиморфизмов в гене *PPP2R2B* с признаками мясной продуктивности у свиней, а также анализ тканеспецифичной экспрессии гена в зависимости от уровня продуктивности животных.

Специфичный для породы пьетрен SNP (хромосома 13, позиция 26 469 324), локализован в области гена *GASK1A* (*Golgi associated kinase 1A*, ENSSSCG00000011294). Данный ген кодирует серин-треонин протеинкиназу, ассоциированную с аппаратом Гольджи и предположительно вовлечённую в регуляцию внутриклеточного транспорта, везикулярного трафика, а также фосфорилирование белков, участвующих в сигнальной передаче и клеточном росте. Несмотря на ограниченность данных о функциональной активности *GASK1A*, его клеточная локализация в регуляторных компартментах свидетельствует о потенциальной роли в контроле метаболических и пролиферативных процессов.

Согласно данным базы Bgee, ген *GASK1A* у свиней характеризуется широкой тканеспецифической экспрессией. Наибольший уровень транскрипционной активности зафиксирован в яичниках (уровень экспрессии = 85,94), ооцитах (81,24), желудке (81,08), общей жировой ткани (80,65) и подкожной жировой клетчатке (80,55), что может свидетельствовать о его участии в регуляции репродуктивной функции и липидного обмена. Кроме того, высокий уровень экспрессии гена наблюдается в скелетной мускулатуре (49,55), большой поясничной мышце (43,85) и длиннейшей мышце груди (45,53) [19], что указывает на потенциальную роль *GASK1A* в развитии и функционировании поперечно-полосатой мышечной ткани, напрямую связанной с признаками мясной продуктивности.

Подтверждением потенциальной функциональной значимости гена *GASK1A* служат данные независимого исследования, проведённого на помесных свиньях (ландрас × гурра), в котором были собраны фенотипические данные по массе тела от рождения до восьминедельного возраста. В рамках данного исследования выполнен GWAS-анализ, выявивший SNP, локализованные в экзонах гена *GASK1A* и достоверно ассоциированные с массой тела на различных этапах постнатального периода [26]. В частности, один из таких SNP (расположенный в экзоне 3) вошёл в число десяти наиболее значимых маркеров, ассоциированных с массой тела при рождении и на четвёртой неделе жизни ($P<0,001$). Для признака «масса тела» на пятой неделе были идентифицированы ещё два SNP в области *GASK1A* (экзон 2), также обладающие высокой статистической значимостью. Полученные данные позволяют предположить участие этого гена в ранней онтогенетической регуляции темпов роста у свиней.

Таким образом, SNP, локализованный в области гена *GASK1A* у породы пьетрен, представляет интерес как потенциальный функциональный маркер, ассоциированный с признаками скороспелости и интенсивного постнатального роста. Учитывая тканеспеци-

фичный профиль экспрессии данного гена, а также наличие достоверных ассоциаций с параметрами массы тела на ранних этапах онтогенеза, этот локус заслуживает дальнейшего изучения. Перспективным представляется анализ структурных и регуляторных полиморфизмов в популяциях с контрастной динамикой живой массы, а также уточнение молекулярных механизмов участия *GASK1A* в контроле темпов роста и развития мышечной ткани.

У свиней породы ландрас один из дифференцированных SNP локализован в области гена *TFEC* (*transcription factor EC*, ENSSSCG00000038138). Этот ген кодирует транскрипционный фактор из подсемейства MITF (*microphthalmia-associated transcription factor*), известный своей ключевой ролью в регуляции дифференцировки клеток нейрального гребня, включая меланоциты, остеокласты и клетки иммунной системы. *TFEC* участвует в формировании клеточных фенотипов, особенно в линиях, связанных с моноцитарными и пигментными клетками, и может опосредовать сигнальные пути, активируемые различными внешними и внутренними стимулами.

Согласно данным ресурса Bgee, *TFEC* демонстрирует умеренно широкий профиль экспрессии у свиней в 38 тканях организма с наибольшей активностью в селезёнке (уровень экспрессии = 78,92), почках взрослых животных (76,70) и крови (70,49), что может указывать на участие в иммунологических и метаболических функциях. Также важно отметить, что *TFEC* экспрессируется и в мышечных, и жировых тканях: длиннейшая мышца спины (50,08), подкожная жировая ткань (48,60), скелетная мышечная ткань (42,62) [19], что подчёркивает потенциальную роль этого гена в тканеспецифической регуляции транскрипции, связанной с продуктивными признаками.

Особый интерес вызывает установленная в недавних исследованиях связь *TFEC* с развитием клеток пигментации и пегим окрасом у позвоночных. В работе А. Гарсия-Эльфринг и др. (A. Garcia-Elfring et al., 2023) экспериментально показано, что CRISPR-индуцированные мутации в гене *TFEC* у ящерицы (*Anolis sagrei*) приводят к полному отсутствию иридофоров и потере характерной окраски, что указывает на его ключевую роль в развитии хроматофоров [27]. Эти данные были подтверждены и дополнены в работе А. С. Тзика (A. C. Tzika, 2024), в которой обсуждается вклад *TFEC* в общие механизмы дифференцировки пигментных клеток у рептилий [28].

Интересен тот факт, что данный ген обнаружен как специфичный именно у породы ландрас (породы с однородной белой мастью) при сравнении с породами дюрок, гемпшир, беркшир и пьетрен, характеризующимися пегой мастью. Это наблюдение позволяет выдвинуть гипотезу о возможной связи *TFEC* с регуляцией пигментации у свиней несмотря на то, что у данного вида механизмы пигментации изучены в меньшей степени, чем у модельных позвоночных. Предположительно, аллельные различия в области *TFEC* у породы ландрас могли быть зафиксированы в результате искусственного отбора на отсутствие пигмента, типичного для многих современных белых пород.

Более того, учитывая наличие экспрессии гена *TFEC* в мышечной и жировой ткани, нельзя исключать его возможной роли в регуляции метаболических или иммунных функций, связанных с продуктивными характеристиками. Это делает обнаруженный SNP, локализованный в области гена *TFEC*, не только потенциальным маркером масти, но и объектом для дальнейшего функционального анализа, направленного на выяснение его роли в комплексной регуляции физиологических процессов у свиней.

Заключение. На основании проведенного анализа полногеномных SNP-данных пяти коммерческих пород свиней (дюрок, беркшир, гемпшир, пьетрен и ландрас) установлено, что между ними существует умеренный уровень генетической дифференциации, отражающий исторические пути разведения и селекционное давление. Наиболее выраженные различия отмечены между породой дюрок и породами беркшир, пьетрен и ландрас, что подтверждает генетическую обособленность породы дюрок. Анализ FST выявил наличие SNP с высокой степенью межпородной дифференциации, концентрированных в определенных хромосомах (SSC1, SSC13, SSC4 и SSC6), что указывает на наличие селективных «горячих точек», вовлеченных в регуляцию продуктивных и адаптивных признаков. Повторяемость выявленных SNP в межпородных сравнениях подчеркивает их породную специфичность и потенциальную значимость.

Функциональная аннотация, проведенная для выявленных SNP, позволила локализовать их в пределах генов, обладающих тканеспе-

цифичной экспрессией, таких как *PCDHB7* и *PPP2R2B*, участвующих в метаболических процессах, а также в области гена *TFEC*, играющего роль в дифференцировке пигментных клеток и, вероятно, влияющего на формирование белой масти у породы ландрас. У породы пьетрен один SNP был аннотирован в области гена *GASK1A*, экспрессирующегося преимущественно в скелетной мускулатуре и вовлечённого в регуляцию внутриклеточного трафика и клеточной морфологии. Данная ассоциация может свидетельствовать о возможной роли *GASK1A* в развитии мышечной ткани и, соответственно, в формировании мясной продуктивности данной породы. Эти результаты не только раскрывают генетические механизмы породообразования, но и указывают на потенциальную связь между генетической дифференциацией и фенотипическими особенностями, что подтверждает перспективность дальнейшей разработки выявленных SNP-маркеров для использования в селекционных программах, направленных на повышение продуктивности и поддержание породной специфичности. В целом результаты работы представляют ценные сведения для дальнейших молекулярно-генетических исследований механизмов породообразования и направленного отбора свиней коммерческих пород.

References

1. Зиновьева Н. А., Сермягин А. А., Доцев А. В., Боронецкая О. И., Петрикеева Л. В., Абдельманова А. С. Генетические ресурсы животных: развитие исследований аллелофонда российских пород крупного рогатого скота-миниобзор. Сельскохозяйственная биология. 2019;54(4):631–641.
DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.4.631rus EDN: FCIGOD

Zinoveva N. A., Sermyagin A. A., Dotsev A. V., Boronetskaya O. I., Petrikeeva L. V., Abdelmanova A. S. Animal genetic resources: developing the research of allele pool of russian cattle breeds - minireview. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2019;54(4):631–641. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.4.631rus

2. Гетманцева Л. В., Траспов А. А., Бакоев Н. Ф., Прытков Ю. А., Бакоев С. Ю., Петрикеева Л. В., Костюнина О. В. Поиск "отпечатков отбора" у домашних свиней и дикого кабана (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2020;55(2):243–256. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.243rus EDN: CEJTDC

Getmantseva L. V., Traspov A. A., Bakoev N. F., Pritkov Yu. A., Bakoev S. Yu., Petrikeeva L. V., Kostyunina O. V. Identification of "selection signatures" in pigs and wild boars (review). *Selskokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2020;55(2):243–256. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.243rus

3. Tariq M., Safdar M., Badshah F., Bibi S., Fatima A., Saeed S., Ashiq K. Genetic diversity in livestock breeds: challenges and conservation. In: Animal production and health. Editor Dr. Muhammed Safdar. Published by ISRES Publishing, International Society for Research in Education and Science (ISRES), 2024. pp. 25–38.
URL: https://www.researchgate.net/profile/Momina-Malik-5/publication/391213898_Animal_Production_and_Health/links/680e67e5bfbe974b23bc6403/Animal-Production-and-Health.pdf#page=32

4. Zayas G. A., Mateescu R. G. Genomic signatures of selection in Brangus cattle revealing the genetic foundations of adaptability and production traits using a breed of origin approach. Frontiers in Animal Science. 2024;5:1450639. DOI: https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1450639

5. Wu F., Chen Z., Zhang Z., Wang Z., Zhang Z., Wang Q., Pan Y. The role of Socs3 in regulating meat quality in Jinhua pigs. International Journal of Molecular Sciences. 2023;24(13):10593. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms241310593

6. Saini T., Chauhan A., Ahmad S. F., Kumar A., Vaishnav S., Singh S. et al. Elucidation of population stratifying markers and selective sweeps in crossbred landlly pig population using genome-wide SNP data. Mammalian Genome. 2024;35(2):170–185. DOI: https://doi.org/10.1007/s00335-024-10029-4

7. Weir B. S., Cockerham C. C. Estimating F-statistics for the analysis of population structure. Evolution. 1984;38(6):1358–1370. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1984.tb05657.x

8. Jiang N., Luo C., Shao M., Zheng Z., Ullah S., Ullah Q., Basang W. D. et al. Advancing Yak Breeding in China: Harnessing Genetic Resources and Marker-Assisted Selection for Improved Production Traits. Pakistan Journal of Zoology. 2025;57(1):461–476. DOI: https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20230624130639

9. Ruan D., Yang J., Zhuang Z., Ding R., Huang J., Quan J. et al. Assessment of heterozygosity and genome-wide analysis of heterozygosity regions in two Duroc pig populations. Frontiers in Genetics. 2022;12:812456.
DOI: https://doi.org/10.3389/fgene.2021.812456

10. Yang S., Li X., Li K., Fan B., Tang Z. A genome-wide scan for signatures of selection in Chinese indigenous and commercial pig breeds. BMC genetics. 2014;15(1):7. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2156-15-7

11. Yang B., Cui L., Perez-Enciso M., Traspov A., Crooijmans R. P., Zinovieva N. et al. Genome-wide SNP data unveils the globalization of domesticated pigs. Genetics Selection Evolution. 2017;49(1):71.
DOI: https://doi.org/10.1186/s12711-017-0345-y

12. Liu H., Hou L., Zhou W., Wang B., Han P., Gao C. et al. Genome-wide association study and FST analysis reveal four quantitative trait loci and six candidate genes for meat color in pigs. Frontiers in Genetics. 2022;13:768710. DOI: https://doi.org/10.3389/fgene.2022.768710

13. Tang Z., Fu Y., Xu J., Zhu M., Li X., Yu M. et al. Discovery of selection-driven genetic differences of Duroc, Landrace, and Yorkshire pig breeds by EigenGWAS and Fst analyses. Animal Genetics. 2020;51(4):531–540. DOI: https://doi.org/10.1111/age.12946

14. Bovo S., Ribani A., Muñoz M., Alves E., Araujo J. P., Bozzi R. et al. Whole-genome sequencing of European autochthonous and commercial pig breeds allows the detection of signatures of selection for adaptation of genetic resources to different breeding and production systems. Genetics Selection Evolution. 2020;52(1):33. DOI: https://doi.org/10.1186/s12711-020-00553-7

15. Hall S. J. Genetic differentiation among livestock breeds–values for Fst. Animals. 2022;12(9):1115. DOI: https://doi.org/10.3390/ani12091115

16. Maiorano A. M., Lourenco D. L., Tsuruta S., Ospina A. M., Stafuzza N. B., Masuda Y. et al. Assessing genetic architecture and signatures of selection of dual purpose Gir cattle populations using genomic information. PLoS One. 2018;13(8):e0200694. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200694

17. Wang Y., Niu Z., Zeng Z., Jiang Y., Jiang Y., Ding Y. et al. Using high-density SNP array to reveal selection signatures related to prolificacy in Chinese and Kazakhstan sheep breeds. Animals. 2020;10(9):1633. DOI: https://doi.org/10.3390/ani10091633

18. Luo W., Luo C., Wang M., Guo L., Chen X., Li Z. et al. Genome diversity of Chinese indigenous chicken and the selective signatures in Chinese gamecock chicken. Scientific Reports. 2020;10(1):14532. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-020-71421-z

19. Bastian F. B., Roux J., Niknejad A., Comte A., Fonseca Costa S. S., De Farias T. M. et al. The Bgee suite: integrated curated expression atlas and comparative transcriptomics in animals. Nucleic Acids Research. 2021;49(D1):D831–D847. DOI: https://doi.org/10.1093/nar/gkaa793

20. Meyermans R., Gorssen W., Buys N., Janssens S. How to study runs of homozygosity using PLINK? A guide for analyzing medium density SNP data in livestock and pet species. BMC genomics. 2020;21(1):94. DOI: https://doi.org/10.1186/s12864-020-6463-x

21. Yang B., Cui L., Perez-Enciso M., Traspov A., Crooijmans R. P., Zinovieva N. et al. Genome-wide SNP data unveils the globalization of domesticated pigs. Genetics Selection Evolution. 2017;49:71. DOI: https://doi.org/10.1186/s12711-017-0345-y

22. Кузнецов В. М. Оценка генетической дифференциации популяций молекулярным дисперсионным анализом (аналитический обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):167–187. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.167-187 EDN: LGYMFT

Kuznetsov V. M. Assessment of genetic differentiation of populations by analysis of molecular variance (analytical review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(2):167–187. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.167-187

23. Balwierz A., Polus A., Razny U., Wator L., Dyduch G., Tomaszewska R. et al. Angiogenesis in the New Zealand obese mouse model fed with high fat diet. Lipids in Health and Disease. 2009;8:13. DOI: https://doi.org/10.1186/1476-511X-8-13

24. Moon S., Hwang M. Y., Jang H. B., Han S., Kim Y. J., Hwang J. Y. et al. Whole-exome sequencing study reveals common copy number variants in protocadherin genes associated with childhood obesity in Koreans. International Journal of Obesity. 2017;41(4):660–663. DOI: https://doi.org/10.1038/ijo.2017.12

25. Jia R., Fu Y., Xu L., Li H., Li Y., Liu L. et al. Associations between polymorphisms of SLC22A7, NGFR, ARNTL and PPP2R2B genes and Milk production traits in Chinese Holstein. BMC Genomic Data. 2021;22:47. DOI: https://doi.org/10.1186/s12863-021-01002-0

26. Karthikeyan A., Kumar A., Chaudhary R., Wara A. B., Singh A., Sahoo N. R. et al. Genome-wide association study of birth weight and pre-weaning body weight of crossbred pigs. The Indian Journal of Animal Sciences. 2020;90(2):195–200. DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21171.37923

27. Garcia-Elfring A., Sabin C. E., Iouchmanov A. L., Roffey H. L., Samudra S. P., Alcala A. J. et al., Piebaldism and chromatophore development in reptiles are linked to the tfec gene. Current Biology. 2023;33(4):755–763. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.01.004

28. Tzika A. C. On the role of TFEC in reptilian coloration. Frontiers in Cell and Developmental Biology. 2024;12:1358828. DOI: https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1358828

Сведения об авторах

✉ **Романец Тимофей Сергеевич,** кандидат с.-х. наук, доцент кафедры, разведения сельскохозяйственных животных, частной зоотехнии и зоогигиены имени академика П. Е. Ладана, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», ул. Кривошлыкова, 24, п. Персиановский, Российская Федерация, 346493,
e-mail: dongau@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0690-4217**, e-mail: timofey9258@mail.ru

Бакоев Сирождин Юсуфович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», ул. Ленина, д. 13, п. Лесные Поляны, г. Пушкино, Московская область, Российская Федерация, 141212, e-mail: vniiplem@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1868-3148**

Романец Елена Андреевна, младший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», ул. Кривошлыкова, 24, п. Персиановский, Российская Федерация, 346493, e-mail: dongau@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2824-9564**

Колосова Мария Анатольевна, кандидат с.-х. наук, доцент кафедры разведения сельскохозяйственных животных, частной зоотехнии и зоогигиены имени академика П. Е. Ладана, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», ул. Кривошлыкова, 24, п. Персиановский, Российская Федерация, 346493, e-mail: dongau@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2979-7108**

Луконина Ольга Николаевна, и.о. директора, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», ул. Ленина, д. 13, п. Лесные Поляны, г. Пушкино, Московская область, Российская Федерация, 141212, e-mail: vniiplem@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0004-5369-6555**

Башмакова Наталия Владимировна, научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», ул. Ленина, д. 13, п. Лесные Поляны, г. Пушкино, Московская область, Российская Федерация, 141212, e-mail: vniiplem@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0001-4475-4205**

Ахмедли Вагиф Фадаинович, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», ул. Ленина, д. 13, п. Лесные Поляны, г. Пушкино, Московская область, Российская Федерация, 141212, e-mail: vniiplem@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9199-6270**

Гетманцева Любовь Владимировна, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», ул. Ленина, д. 13, п. Лесные Поляны, г. Пушкино, Московская область, Российская Федерация, 141212, e-mail: vniiplem@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1868-3148

Information about the authors

✉ **Timofey S. Romanets,** PhD in Agricultural Science, assistant professor, the Department of Farm Animal Breeding, Private Zootechnics and Zoogygiene named after academician P. E. Ladan, Don State Agrarian University, st. Krivoshlykova, 24, Persianovsky, Russian Federation, 346493, e-mail: dongau@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0690-4217, e-mail: timofey9258@mail.ru

Sirozhdin Y. Bakoev, PhD in Agricultural Science, leading researcher, All Russian Research Institute of Animal Breeding, str. Lenin, 13, Lesnye Polyany, Pushkino, Moscow Region, Russian Federation, 141212, e-mail: vniiplem@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1868-3148**

Elena A. Romanets, junior researcher, Don State Agrarian University, st. Krivoshlykova, 24, Persianovsky, Russian Federation, 346493, e-mail: dongau@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2824-9564**

Maria A. Kolosova, PhD in Agricultural Science, assistant professor, the Department of Farm Animal Breeding, Private Zootechnics and Zoogygiene named after academician P.E. Ladan, Don State Agrarian University, st. Krivoshlykova, 24, Persianovsky, Russian Federation, 346493, e-mail: dongau@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2979-7108**

Olga N. Lukonina, acting director, All Russian Research Institute of Animal Breeding, str. Lenin, 13, Lesnye Polyany, Pushkino, Moscow Region, Russian Federation, 141212, e-mail: vniiplem@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-5369-6555

Natalia V. Bashmakova, researcher, All Russian Research Institute of Animal Breeding, str. Lenin, 13, Lesnye Polyany, Pushkino, Moscow Region, Russian Federation, 141212, e-mail: vniiplem@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-4475-4205

Vagif F. Akhmedli, junior researcher, All Russian Research Institute of Animal Breeding, str. Lenin, 13, Lesnye Polyany, Pushkino, Moscow Region, Russian Federation, 141212, e-mail: vniiplem@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9199-6270

Lyubov V. Getmantseva, DSc in Biological Science, leading researcher, All Russian Research Institute of Animal Breeding, str. Lenin, 13, Lesnye Polyany, Pushkino, Moscow Region, Russian Federation, 141212,
e-mail: vniiplem@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1868-3148**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.154–163
УДК 636.2.033

(cc) BY

Сравнительная оценка содержания минеральных веществ в крови коров и нетелей герефордской породы в смежных поколениях

© 2026. М. А. Барсукова✉, К. Н. Нарожных, О. А. Иванова
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», г. Новосибирск, Российская Федерация

Содержание жизненно важных элементов в крови животных может зависеть от комплекса факторов, к которым относятся как индивидуальные особенности организма, так и факторы окружающей среды. Интересным является изучение влияние возраста животных на минеральный профиль крови, однако, с учетом возможных различий в химическом составе кормов в разные периоды, оценка его на одних и тех же животных не представляется правильной. Цель данного исследования – изучение различий в содержании фосфора, кальция, натрия и железа в сыворотке крови коров и нетелей герефордской породы, относящихся к двум смежным поколениям. Материалом для исследования послужили пробы крови, взятые у 79 пар животных (мать-дочь), содержащихся в одинаковых условиях. В результате исследования установлены достоверные возрастные различия в минеральном статусе. У дочернего поколения (нетели) выявлено более высокое содержание фосфора (2,08 ммоль/л против 1,68 ммоль/л у матерей; p = 0,0036) и, как следствие, более низкое соотношение Ca/P (p = 0,0094). Напротив, концентрация натрия была достоверно выше в материнском поколении (медиана 179,70 ммоль/л против 144,60 ммоль/л у дочерей; p = 0,0001). Значимых различий в содержании кальция и железа не обнаружено. Анализ главных компонент (PCA) подтвердил, что основной вектор изменчивости между поколениями связан с кальций-фосфорным обменом. В то же время значительное перекрытие эллипсов концентраций указывает на высокую индивидуальную вариабельность минерального профиля, не связанную с возрастом. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о разнонаправленных возрастных изменениях в метаболизме ключевых макроэлементов. Это обосновывает необходимость корректировки минерального состава рационов и премиксов для животных герефордской породы с учетом их возраста (поколения) для поддержания физиологического здоровья и продуктивного потенциала.

Ключевые слова: *макроэлементы, микроэлементы, биохимия крови, возрастные различия, мясной скот, минеральный обмен*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках проекта научной тематики «Формирование племенного стада герефордской породы мясного скота с улучшенной продуктивностью с использованием генетических методов селекции (FESF-2023-0002)», регистрационный номер 1023030200009-4-4.2.1.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Барсукова М. А., Нарожных К. Н., Иванова О. А. Сравнительная оценка содержания минеральных веществ в крови коров и нетелей герефордской породы в смежных поколениях. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):154–163. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.154-163

Поступила: 22.05.2025 Принята к публикации: 04.02.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Comparative assessment of the mineral content in the blood of cows and heifers of the Hereford breed in adjacent generations

© 2026. Maria A. Barsukova✉, Kirill N. Narozhnykh, Oksana A. Ivanova
Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russian Federation

The content of vital elements in the blood of animals can depend on a complex of factors, which include both the individual characteristics of organisms and environmental factors. It is interesting to study the effect of animal age on the blood mineral profile, however, taking into account possible differences in the chemical composition of feeds in different periods, an adequate assessment of the mineral profile on the same animals does not seem correct. The aim of the research was to study the differences in phosphorus, calcium, sodium and iron content in the blood serum of cows and heifers of the Hereford breed belonging to two adjacent generations. The material for the study were blood samples taken from 79 pairs of animals (mother-daughter) kept in the same conditions. As a result of the research, significant age differences in mineral status were established. The daughter generation (heifers) showed a higher phosphorus content (2.08 mmol/L versus 1.68 mmol/L in mothers; p = 0.0036) and, as a result, a lower Ca/P ratio (p = 0.0094). On the contrary, the sodium concentration was significantly higher in the maternal generation (median 179.70 mmol/L versus 144.60 mmol/L in daughters; p = 0.0001). No significant differences in the content of calcium and iron were found. The Principal Component Analysis (PCA) has confirmed that the main vector of variability between generations is related to calcium-phosphorus metabolism. At the same time, a significant overlap of the concentration ellipses indicates a high individual variability of the mineral profile, unrelated to the age. Thus, the results obtained indicate multidirectional age-related changes in the metabolism of key macronutrients. This justi-

fies the need to adjust the mineral composition of diets and premixes for Hereford breed animals, taking into account their age (generation) in order to maintain physiological health and productive potential.

Keywords: *macronutrients, microelements, blood biochemistry, age differences, beef cattle, mineral metabolism*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the scientific project "Formation of a breeding herd of the Hereford beef cattle breed with improved productivity using genetic breeding methods (FESF-2023-0002)", registration number 1023030200009-4-4.2.1.

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

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

For citation: Barsukova M. A., Narozhnykh K. N., Ivanova O. A. Comparative assessment of the mineral content in the blood of cows and heifers of the Hereford breed in adjacent generations. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):154–163. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.154-163

Received: 22.05.2025 Accepted for publication: 04.02.2026 Published online: 27.02.2026

На протяжении последних десятилетий мясное скотоводство приобретает все большее значение. Использование высокопродуктивных пород скота, обладающих при этом хорошим адаптивным потенциалом, позволяющим выращивать животных в разных природно-климатических условиях, является одним из факторов, способствующих его широкому распространению. Второй, не менее значимый фактор, обуславливающий рост популярности мясного скота, также связанный с неприхотливостью этих животных, это широкая возможность не только использования пастбищ, но и круглогодичного содержания коров и молодняка на открытом воздухе [1]. Однако пастбищное содержание при использовании естественных угодий сопровождается рисками, связанными с ранним истощением или выгоранием пастбищ, особенно в условиях степной и лесостепной зон, что делает необходимым не только подкормку молодняка и коров, но и контроль за состоянием животных [2]. Интенсивный рост молодняка мясного скота требует больших затрат не только энергии, но и обеспечения животных макро- и микроэлементами, отвечающими за полноценное развитие и рост животных. Это особенно важно для регионов с контрастными природно-климатическими условиями, к которым относятся и южные области Западной Сибири. Резкие перепады температур в течение года (от -40 до +40 °С в декабре и июне) влияют на состояние не только молодняка, но и взрослых животных, в том числе и на показатели минерального обмена [3, 4].

Герефордский скот, разводимый в условиях Западной Сибири, характеризуется высокими продуктивными показателями и адаптивным потенциалом, позволяющими хозяйствам успешно вести работу не только по производству товарного молодняка, но и по совершенствованию имеющегося племенного поголовья [5]. Однако, наряду с классическими показателями продуктивности, современное скотоводство требует и более детальной оценки интерьерных показателей животных как возможных маркеров продуктивного потенциала [6]. К ним относятся индивидуальные и породные характеристики животных, а также их генотип, обусловленные региональными особенностями пастбищных угодий и химическим составом кормов [7]. Для комплексной оценки метаболического статуса в данной работе были выбраны ключевые макро- микроэлементы: кальций и фосфор как основные регуляторы костной ткани и энергетического обмена; натрий, отражающий состояние водно-солевого баланса; железо – незаменимый компонент гемоглобина, играющего центральную роль в кроветворении и кислородном обмене.

Показано влияние генотипа и породной принадлежности на содержание минеральных веществ в органах и тканях крупного рогатого скота, выращенного в экологически благополучных зонах Западной Сибири [8, 9]. С другой стороны, биохимические показатели крови животных, содержащихся круглогодично под открытым небом, могут также зависеть и от кратковременного действия средовых факторов, таких как температурный стресс [10]. Данные литературы свидетельствуют о связи гематологических и биохимических маркеров с особенностями метаболизма, способностью к адаптации и стрессоустойчивости крупного рогатого скота, а также к поддержанию достаточного уровня продуктивности в неблагоприятных условиях [11]. В наших предшествующих исследованиях было показано влияние года рождения и, как следствие, условий среды на рост и развитее молодняка герефордской породы [12], однако, интересным является

изучение различий между животными разных поколений по некоторым показателям крови.

Цель исследований – изучить различия в содержании фосфора, кальция, натрия и железа в сыворотке крови коров и нетелей герефордской породы, относящихся к двум смежным поколениям при пастбищном содержании.

Задачи исследований:

- оценка содержания фосфора, кальция, натрия и железа в сыворотке крови животных материнского и дочернего поколений;
- анализ и сравнение различий в концентрации этих элементов между двумя группами;
- расчет и анализ коэффициентов корреляции между содержанием элементов;
- применение многомерного статистического анализа (PCA) для выявления скрытых закономерностей и визуализации различий в минеральном статусе.

Научная новизна – комплексная оценка минерального профиля у коров и нетелей герефордской породы, подобранных по принципу «мать-дочь». Такой подход позволяет частично нивелировать генетические различия и более точно выявить возрастные закономерности метаболизма в условиях круглогодичного содержания под открытым небом при зимовке на площадках в резко континентальном климате. Применение многомерного статистического анализа, в свою очередь, дает возможность выявить скрытые взаимосвязи между элементами, которые не очевидны при простом попарном сравнении.

Понимание возрастных особенностей метаболизма необходимо для разработки целенаправленных стратегий кормления, позволяющих корректировать рационы и состав премиксов. Это, в свою очередь, способствует профилактике метаболических нарушений и повышению продуктивного долголетия животных, что представляет несомненный практический интерес для хозяйств, занимающихся разведением мясного скота.

Материал и методы. Объектом исследования служили коровы (материнское поколение, n = 79) и нетели (дочернее поколение, n = 79) герефордской породы, подобранные по принципу «мать-дочь». Животные принадлежали племенному репродуктору, расположенному в предгорной зоне Новосибирской области. На момент взятия крови возраст коров материнского поколения составлял 3–5 отелов, возраст нетелей дочернего поколения – 18–19 месяцев. Все животные были клинически здоровы, с различиями в живой массе внутри каждой группы не более 3 %.

Условия содержания и кормления. Животные обеих групп содержались в одинаковых условиях. Предшествующий пастбищный период длился 5 месяцев (с мая по сентябрь), в течение которых животные находились на естественных предгорных пастбищах. Дополнительно к пастбищному корму животные получали ячменную дерть в количестве 1 кг на голову в сутки. Сбалансированные комбикорма и минеральные премиксы в рационе отсутствовали, что позволяет связывать выявленные различия в минеральном статусе преимущественно с возрастными особенностями метаболизма, а не с внешними источниками минералов.

Взятие и обработка проб. Образцы крови для исследования брали из хвостовой вены в стандартные вакуумные пробирки в период формирования гуртов для зимовки. Пробы доставляли в лабораторию в термоконтейнере при температуре +2...+4 °C. Сыворотку получали путем центрифугирования при скорости вращения 3500 оборотов в минуту в течение 10 минут.

Биохимический анализ. Концентрацию кальция, фосфора, натрия и железа в сыворотке крови определяли фотометрическим методом на биохимическом анализаторе PCE-90VET (Hight Technology Inc, США) с использованием стандартизированных наборов реагентов «Ольвекс-Диагностикум» (Россия).

Статистический анализ. Поскольку распределение большинства показателей отличалось от нормального (что было проверено с помощью теста Андерсена-Дарлинга, AD), для описания данных использовали медиану (Me), первый (Q1) и третий (Q3) квартили. Для сравнения независимых выборок (материнского и дочернего поколений) применяли непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Для оценки взаимосвязей между концентрациями элементов рассчитывали коэффициенты ранговой корреляции Спирмена. Для выявления скрытых закономерностей и визуализации различий в минеральном профиле был проведен анализ главных компонент (PCA). Критический уровень статистической значимости (p) при проверке всех гипотез принимался равным 0,05.

Результаты и их обсуждение. *Общая характеристика минерального статуса животных.* Медианные значения концентраций

основных минеральных элементов, а также их вариативность в сыворотке крови коров-матерей и нетелей-дочерей представлены в таблицах 1 и 2. В целом, средние уровни фосфора и кальция в обеих группах находились в пределах физиологической нормы [13], принятой для крупного рогатого скота. Это свидетельствует об отсутствии у обследованных животных выраженных признаков клинической минеральной недостаточности на момент взятия проб, что подтверждает адекватность условий их содержания.

Таблица 1 – **Содержание минеральных веществ в крови коров (материнское поколение, n = 79), ммоль/л /**
Table 1 – **Content of minerals in the blood of cows (maternal generation, n = 79), mmol/L**

Признак / Indicator	Me	Q1	Q3	IQR	AD	AD.p
Фосфор / Phosphorus	1,68	1,23	2,07	0,843	7,821	0,001
Кальций / Calcium	2,08	1,59	3,77	2,18	6,033	0,001
Кальций/Фосфор / Calcium/Phosphorus	1,42	0,841	2,88	2,04	3,924	0,001
Натрий / Sodium	179,70	144,40	189,20	45,00	2,931	0,001
Железо / Iron	22,80	16,40	26,70	10,30	1,559	0,001

Примечания: здесь и далее Me – медиана; Q1 – первый квартиль; Q3 – третий квартиль; IQR – межквартильный размах, AD – тест Андерсена-Дарлинга, AD.p – достоверность критерия Андерсена-Дарлинга /
Notes: here and further Me – median; Q1 – first quartile; Q3 – third quartile; IQR – interquartile range; AD is the Andersen-Darling test; AD.p is the reliability of the Andersen-Darling criterion

Таблица 2 – **Содержание минеральных веществ в крови нетелей (дочернее поколение, n = 79), ммоль/л /**
Table 2 – **Mineral content in the blood of heifers (daughter generation, n = 79), mmol/L**

Признак / Indicator	*Me*	*Q1*	*Q3*	*IQR*	*AD*	*AD.p*
Фосфор / Phosphorus	2,08	1,59	2,69	1,13	3,959	0,001
Кальций / Calcium	2,65	2,10	3,15	1,05	0,745	0,093*
Кальций/Фосфор / Calcium/Phosphorus	1,20	0,86	1,82	0,95	12,10	0,001
Натрий / Sodium	144,60	127,70	166,60	38,80	0,865	0,090*
Железо / Iron	18,40	14,30	26,50	12,20	3,426	0,001

* p>0,05 (для критерия Андерсена-Дарлинга p>0,05 означает, что распределение соответствует нормальному) /
* p>0.05 (for the Andersen-Darling criterion, p>0.05 means that the distribution corresponds to normal)

Анализ минерального состава крови между поколениями. Сравнение показателей между группами выявило статистически значимые различия в содержании ключевых элементов, что указывает на возрастные особенности метаболизма (табл. 3). Так как тест Андерсена-Дарлинга (AD.p) показал несоответствие распределения нормальному, для определения достоверности различий был использован U-критерий Манна-Уитни.

Таблица 3 – **Достоверность различий содержания минеральных веществ в крови животных материнского и дочернего поколений (n = 79) /**
Table 3 – **Reliability of differences in the content of minerals in the blood of animals of the maternal and daughter generations (n = 79)**

Признак / Indicator	*U-статистика / U-statistics*	*p-значение / p-value*
Фосфор / Phosphorus	955,5	0,0036
Кальций / Calcium	1536,0	0,8629
Кальций/Фосфор / Calcium/Phosphorus	2013,0	0,0094
Натрий / Sodium	2316,0	0,0001
Железо / Iron	1590,2	0,655

Содержание фосфора в крови нетелей было достоверно выше, чем у их матерей (2,08 ммоль/л против 1,68 ммоль/л; p = 0,0036). Этот результат согласуется с данными других исследований [13, 14] и является физиологически обоснованным, поскольку молодые, интенсивно растущие животные характеризуются более активными процессами остеосинтеза и общего метаболизма, требующими повышенного участия фосфора.

Концентрация кальция статистически значимо не различалась (p = 0,8629), что объясняется наличием в организме жестких гомеостатических механизмов, поддерживающих его уровень в крови в узком диапазоне. Тем не менее, как следствие высокого уровня фосфора, соотношение Ca/P у нетелей было достоверно ниже (1,20), чем у коров (1,42; p = 0,0094). Это соотношение является важнейшим маркером сбалансированности рациона и метаболизма как для мясного, так и для молочного скота.

При этом несмотря на то, что в формировании соотношения Ca/P основной вклад фосфора, размах изменчивости по этим признакам у животных двух групп различается. Так как распределение значений не соответствовало нормальному, для оценки изменчивости использовали деление данных выборки на квартили (Q) и межквартильный размах (IQR = Q3 - Q1). Таким образом, как по содержанию кальция в сыворотке крови, так и по соотношению Ca/P IQR для выборки дочернего поколения составил 1,05 и 0,95 соответственно, для материнского поколения – 2,18 и 2,04, что показывает значительно большее разнообразие вариантов для взрослых животных. Учитывая содержание исследуемых групп в одинаковых условиях, а также генетические связи между материнским и дочерним поколениями, значимые различия как в содержании фосфора, так и в соотношении Ca/P и изменчивости признаков обусловлены влиянием возраста животных.

Наиболее выраженные различия были зафиксированы по натрию. Содержание натрия в крови является одним из важных показателей обмена веществ как в нормальных условиях, так и при значимых нарушениях кормления и содержания, включая реакцию на тепловой стресс у животных [15]. Его концентрация в крови коров-матерей была значительно выше (179,7 ммоль/л), чем у молодых нетелей (144,60 ммоль/л; p = 0,0001). Натрий – ключевой регулятор водно-электролитного баланса и осмотического давления. Такие существенные различия могут отражать возрастные особенности гормональной регуляции (например, системы ренин-ангиотензин-альдостерон) и функциональной активности почек. Достоверность различий в концентрации макроэлементов и микроэлементов между животными разных возрастов подтверждается литературными данными [14], и обуславливается в том числе возрастной потребностью животных в различных минеральных веществах, а также особенностями обмена веществ.

Аналогичным образом, содержание железа в крови животных является одним из важнейших параметров, связанных с кроветворной функцией, включая количество как гемоглобина, так и непосредственно эритроцитов [16]. Достоверных различий в содержании железа, необходимого для кроветворения, между группами обнаружено не было (p = 0,655).

Для выявления внутренних взаимосвязей между элементами был проведен корреляционный анализ (табл. 4, 5). Достоверной корреляции между содержанием кальция и фосфора в обеих группах не выявлено. Это может объясняться тем, что сложные гомеостатические системы маскируют прямые линейные зависимости этих элементов в периферической крови.

Интересной находкой стала умеренная положительная корреляция между содержанием железа и натрия, статистически значимая в обеих группах (0,39, $p<0,01$ – для группы матерей и 0,35; $p<0,001$ – для группы дочерей). Хотя натрий и железо не являются прямыми антагонистами или синергистами [17], такая связь может указывать на наличие сопряженных метаболических путей или общих регуляторных механизмов, заслуживающих дальнейшего изучения.

Наличие генетической составляющей в концентрации микроэлементов в органах и тканях крупного рогатого скота [18] позволяет рассматривать корреляции между содержанием разных элементов в крови как дополнительный критерий при оценке элементного статуса животных. Существующие модели распределения микро- и макроэлементов учитывают разный набор факторов, определяющих концентрацию элементов в тканях в условиях одной геохимической провинции, включая не только их взаимозамещение в организме, но и действие разнообразных генетических факторов. К ним относят межпородные различия, влияние производителя и уровня гомозиготности исследуемой популяции [3].

Таблица 4 – **Корреляция между содержанием отдельных минеральных веществ в крови животных материнского поколения (n = 79) /**
Table 4 – **Correlation between the content of individual minerals in the blood of animals of the maternal generation (n = 79)**

Признак / Indicator	*Фосфор / Phosphorus*	*Кальций / Calcium*	*Натрий / Sodium*	*Железо / Iron*
Фосфор / Phosphorus	-	-	-	-
Кальций / Calcium	-0,0549	-	-	-
Натрий / Sodium	-0,08254	0,120471	-	-
Железо / Iron	-0,10379	0,039041	0,387274**	-

** p<0,01

Таблица 5 – **Корреляция между содержанием отдельных минеральных веществ в крови животных дочернего поколения (верхний регистр, n = 79) /**
Table 5 – **Correlation between the content of individual minerals in the blood of animals of the daughter generation (upper case, n = 79)**

Признак / Indicator	*Фосфор / Phosphorus*	*Кальций / Calcium*	*Натрий / Sodium*	*Железо / Iron*
Фосфор / Phosphorus	-	0,145582	0,117115	0,055516
Кальций / Calcium	-	-	-0,18291	0,166299
Натрий / Sodium	-	-	-	0,347835***
Железо / Iron	-	-	-	-

*** p<0,001

Применение анализа главных компонент позволило выявить скрытые закономерности и визуализировать многомерные различия в минеральном статусе между поколениями (табл. 6, 7; рис.). Первые две главные компоненты (PC1 и PC2) совместно объясняли 60,4 % общей дисперсии данных.

Таблица 6 – **Собственные значения и доля объясненной дисперсии каждой главной компоненты /**
Table 6 – **Eigenvalues and proportion of explained variance retained by each principal component**

Показатель / Indicator	*PC1*	*PC2*	*PC3*	*PC4*
Собственное значение / Eigenvalue	1,698733751	1,318921	0,996633	0,666918
Объясненная доля / Explained share	0,33974675	0,263784	0,199327	0,133384
Совокупная доля / Total share	0,33974675	0,603531	0,802858	0,936241

Таблица 7 – **Факторные нагрузки на главные компоненты /**
Table 7 – **Factor loadings on principal components**

Признак / Indicator	*PC1*	*PC2*	*PC3*	*PC4*
Фосфор / Phosphorus	-0,20893	-0,04589	-0,35969	0,033506
Кальций / Calcium	0,306338	-0,1614	-0,2066	-0,03442
Кальций/Фосфор / Calcium/Phosphorus	0,376599	-0,11312	0,019462	0,029755
Натрий / Sodium	0,11807	0,322329	-0,0844	-0,24244
Железо / Iron	0,141535	0,313687	-0,06517	0,247039

Первая главная компонента (PC1), или «ось кальций-фосфорного обмена», характеризовалась сильными положительными нагрузками от Ca и соотношения Ca/P и отрицательной – от P. Вторая главная компонента (PC2), «ось натрий-железистого баланса», определялась положительными нагрузками от Na и Fe.

Рисунок наглядно демонстрирует смещение эллипса концентрации для нетелей вправо вдоль оси PC1, что визуально подтверждает их тенденцию к более интенсивному обмену фосфора и кальция. Эллипс для коров-матерей смещен вверх вдоль оси PC2, отражая более высокие концентрации натрия и железа в этой группе.

Важно отметить, что несмотря на смещение центров, эллипсы двух групп значительно перекрываются. Это свидетельствует о выраженной индивидуальной вариабельности минерального профиля. Данный факт показывает: помимо возраста, на минеральный гомеостаз влияет значительный комплекс других факторов (генетических, индивидуально-физиологических), что требует дальнейшего изучения.

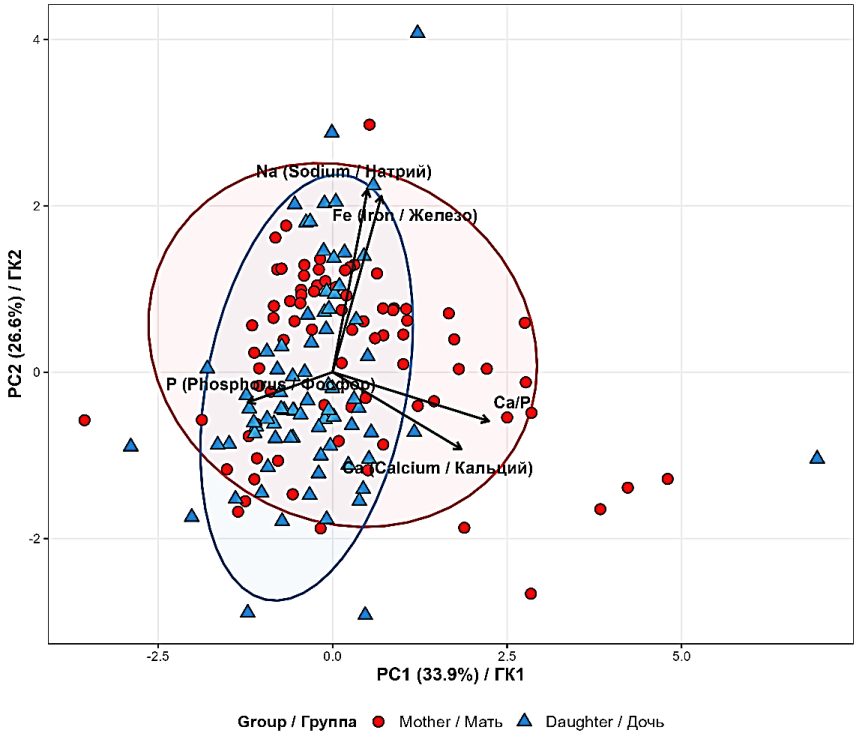


Рис. **Распределение содержания минеральных элементов у животных материнского и дочернего поколения в пространстве главных компонент /**

Fig. **Distribution of mineral element content in animals of the maternal and daughter generation in the principal component space**

Заключение. Результаты проведенного исследования убедительно демонстрируют наличие достоверных и разнонаправленных различий в концентрации жизненно важных минеральных элементов в крови крупного рогатого скота герефордской породы в смежных поколениях (мать-дочь), содержащихся в одинаковых условиях. На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что у молодых, растущих животных в сыворотке крови выше содержание фосфора (2,08 по сравнению с 1,68 ммоль/л, $p = 0,0036$) и, как следствие, ниже соотношение Ca/P по сравнению со взрослыми коровами-матерями. Это отражает повышенную потребность молодого организма в фосфоре для процессов роста и формирования костной ткани.

2. У взрослых коров материнского поколения отмечается значительно более высокая концентрация натрия, что указывает на существенные возрастные различия в регуляции водно-электролитного баланса.

3. Несмотря на выявленные четкие возрастные тенденции, анализ главных компонент

и значительное перекрытие эллипсов концентраций свидетельствуют о существенной роли индивидуальной изменчивости в формировании минерального профиля. Это говорит о том, что на содержание элементов в крови, помимо возраста, влияет значительный комплекс других факторов (генетических, физиологических).

Полученные результаты могут и должны служить научной основой для разработки и корректировки рационов и состава минеральных премиксов для крупного рогатого скота герефордской породы. Выявленная необходимость в разном уровне потребления фосфора и натрия у нетелей и взрослых коров диктует целесообразность применения дифференцированного подхода к минеральному питанию разных половозрастных групп. Это особенно актуально для хозяйств, практикующих пастбищное содержание, где контроль за полноценностью кормления затруднен. Внедрение таких скорректированных рационов позволит не только предотвратить метаболические нарушения, связанные с дисбалансом минералов, но и в полной мере реализовать генетический потенциал продуктивности и повысить продолжительность использования животных. Дальнейшие исследования, направленные на изучение генетических маркеров, ассоциированных с минеральным обменом, позволят еще глубже понять закономерности его формирования и разработать более персонализированные рекомендации.

Список литературы

1. Дускаев Г. К., Харламов А. В., Левахин Г. И., Ажмулдинов Е. А., Амерханов Х. А., Мирошников С. А., Рысаев А. Ф. Краткий обзор систем производства говядины в России и мире (обзор). Животноводство и кормопроизводство. 2022;105(3):78–94. DOI: https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-78 EDN: IBFJGM

2. Явнов М. В., Фролов А. Н., Соболева Н. В. Влияние различных способов доращивания на интенсивность роста, убойные качества и экономическую эффективность выращивания бычков казахской белоголовой породы. Животноводство и кормопроизводство. 2024;107(3):99–107.
DOI: https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-99 EDN: VYWSIK

3. Калашников В. В., Багиров В. А., Зайцев А. М., Калинкова Л. В., Калашникова Т. В., Блохина Н. В. и др. Содержание макро- и микроэлементов в конском волосе как характеристика элементного статуса лошадей заводских и локальных пород в разных регионах России. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(6):1234–1243. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.6.1234rus EDN: YLSVFX

4. Wang S., Li Q., Peng J., Niu H. Effects of Long-Term Cold Stress on Growth Performance, Behavior, Physiological Parameters, and Energy Metabolism in Growing Beef Cattle. Animals. 2023;13(10):1619.
DOI: https://doi.org/10.3390/ani13101619

5. Барсукова М. А. Динамика численности и продуктивности племенного скота породы герефорд в Новосибирской области. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024;(5):79–84.
DOI: https://doi.org/10.31857/S2500208224050162 EDN: ZSCMIS

6. Николаев С. В. Раннее прогнозирование интенсивности прироста живой массы у телят с использованием биохимических маркеров крови. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):548–554.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.548-554 EDN: XYMTKJ

7. Byrne L., Murphy R. A. Relative Bioavailability of Trace Minerals in Production Animal Nutrition: A Review. Animals. 2022;12(15):1981. DOI: https://doi.org/10.3390/ani12151981

8. Стрижкова М. В., Коновалова Т. В., Короткевич О. С., Петухов В. Л., Осинцева Л. А. Содержание фосфора в волосе потомков быков голштинской породы. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2025;(1(78)):154–159.
DOI: https://doi.org/10.34655/bgsha.2025.78.1.019 EDN: ROQDVH

9. Narozhnykh K. N., Petukhov V. L., Konovalova T. V., Sebezhko O. I., Korotkevich O. S. Interbreed differences in iron concentration in cattle organs and tissues, Journal of King Saud University. Science. 2024;36(4):103581. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103581

10. Kim W.-S., Ghassemi Nejad J., Lee H.-G. Impact of Cold Stress on Physiological, Endocrinological, Immunological, Metabolic, and Behavioral Changes of Beef Cattle at Different Stages of Growth. Animals 2023;13(6):1073. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13061073

11. Yang Y., Yang S., Tang J., Ren G., Shen J., Huang B. et al. Comparisons of Hematological and Biochemical Profiles in Brahman and Yunling Cattle. Animals. 2022;12(14):1813. DOI: https://doi.org/10.3390/ani12141813

12. Барсукова М. А., Иванова О. А., Афанасьева И. А., Кочнева М. Л., Нарожных К. Н. Мониторинг живой массы племенного скота герефордской породы в условиях пастбищного содержания. Инновации и продовольственная безопасность. 2024;(1(43)):10–19. DOI: https://doi.org/10.31677/2311-0651-2023-43-1-10-19 EDN: GZSOHO

13. Чысыма Р. Б., Прокудин А. В., Сергеева О. К. Накопление тяжелых металлов мелкими млекопитающими Норило-Пясинской экосистемы. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024;(4(73)):280–289. DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-280-289 EDN: AQYEQH

14. Counotte G., Holzhauer M., Carp-van Dijken S., Muskens J., Van der Merwe D. Levels of trace elements and potential toxic elements in bovine livers: A trend analysis from 2007 to 2018. PLoS One. 2019;14(4):e0214584. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214584

15. Chauhan S. S., Rashamol V. P., Bagath M., Sejian V., Dunshea F. R. Impacts of heat stress on immune responses and oxidative stress in farm animals and nutritional strategies for amelioration. International Journal of Biometeorology. 2021;65:1231–1244. DOI: https://doi.org/10.1007/s00484-021-02083-3

16. Mondal B., Parvez M., Rana M. M., Rahman L., Zahan R., Pal K. C., Khan W. A. Status of Red Blood Cell Indices in Iron Deficiency Anemia and β Thalassaemia Trait: A Comparative Study. Dhaka Shishu (Children) Hospital Journal. 2022;37(1):9–14. DOI: https://doi.org/10.3329/dshj.v37i1.59087

17. Arthington J. D., Ranches J. Trace Mineral Nutrition of Grazing Beef Cattle. Animals. 2021;11(10):2767. DOI: https://doi.org/10.3390/ani11102767

18. Стрижкова М. В., Коновалова Т. В., Короткевич О. С., Петухов В. Л., Зайко О. А., Желтиков А. И., Кочнева М. Л. Влияние генотипа быков-производителей голштинской породы на содержание фосфора в печени потомков. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024;(4):272–279. DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-272-279 EDN: GUPBDV

References

1. Duskaev G. K., Kharlamov A. V., Levakhin G. I., Azhmuldinov E. A., Amerkhanov Kh. A., Miroshnikov S. A., Risaev A. F. Brief overview of beef production systems in Russia and the world. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* = Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(3):78–94. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-78

2. Yavnov M. V., Frolov A. N., Soboleva N. V. Influence of different rearing methods on growth rate, slaughter qualities and economic efficiency of growing kazakh white-headed bulls. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* = Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(3):99–107. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-99

3. Kalashnikov V. V., Bagirov V. A., Zaytsev A. M., Kalinkova L. V., Kalashnikova T. V., Blokhina N. V. et al. Hair macro- and microelement levels as estimates of mineral status in horses of stud and local breeds from different Russian regions. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(6):1234–1243. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.6.1234rus

4. Wang S., Li Q., Peng J., Niu H. Effects of Long-Term Cold Stress on Growth Performance, Behavior, Physiological Parameters, and Energy Metabolism in Growing Beef Cattle. Animals. 2023;13(10):1619.
DOI: https://doi.org/10.3390/ani13101619

5. Barsukova M. A. Dynamics of the number and productivity of hereford breeding cattle in the Novosibirsk region. *Vestnik rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2024;(5):79–84. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S2500208224050162

6. Nikolaev S. V. The use of biochemical blood markers for early prediction of the intensity of live weight gain of calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):548-554. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.548-554

7. Byrne L., Murphy R. A. Relative Bioavailability of Trace Minerals in Production Animal Nutrition: A Review. Animals. 2022;12(15):1981. DOI: https://doi.org/10.3390/ani12151981

8. Strizhkova M. V., Konovalova T. V., Korotkevich O. S., Petukhov V. L., Osintseva L. A. Phosphorus content in the hair of holstein bulls' offspring. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova* = Bulletin of Buryat State Academy of Agriculture. 2025;(1(78)):154–159. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.34655/bgsha.2025.78.1.019

9. Narozhnykh K. N., Petukhov V. L., Konovalova T. V., Sebezhko O. I., Korotkevich O. S. Interbreed differences in iron concentration in cattle organs and tissues, Journal of King Saud University. Science. 2024;36(4):103581. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103581

10. Kim W.-S., Ghassemi Nejad J., Lee H.-G. Impact of Cold Stress on Physiological, Endocrinological, Immunological, Metabolic, and Behavioral Changes of Beef Cattle at Different Stages of Growth. Animals 2023;13(6):1073. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13061073

11. Yang Y., Yang S., Tang J., Ren G., Shen J., Huang B. et al. Comparisons of Hematological and Biochemical Profiles in Brahman and Yunling Cattle. Animals. 2022;12(14):1813. DOI: https://doi.org/10.3390/ani12141813

12. Barsukova M. A., Ivanova O. A., Afanaseva I. A., Kochneva M. L., Narozhnikh K. N. Monitoring the live weight of hereford breeding cattle under pasture conditions. *Innovatsii i prodovolstvennaya bezopasnost* = Innovations and Food Safety. 2024;(1(43)):10–19. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31677/2311-0651-2023-43-1-10-19

13. Chysyma R. B., Prokudin A. V., Sergeeva O. K. Accumulation of heavy metals in small mammals of the NoriloPyasinsky ecosystem. *Vestnik NGAU* (*Novosibirskiy gosudarstvenniy agrarniy universitet*) = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2024;(4):280–289. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-280-289

14. Counotte G., Holzhauer M., Carp-van Dijken S., Muskens J., Van der Merwe D. Levels of trace elements and potential toxic elements in bovine livers: A trend analysis from 2007 to 2018. PLoS One. 2019;14(4):e0214584. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214584

15. Chauhan S. S., Rashamol V. P., Bagath M., Sejian V., Dunshea F. R. Impacts of heat stress on immune responses and oxidative stress in farm animals and nutritional strategies for amelioration. International Journal of Biometeorology. 2021;65:1231–1244. DOI: https://doi.org/10.1007/s00484-021-02083-3

16. Mondal B., Parvez M., Rana M. M., Rahman L., Zahan R., Pal K. C., Khan W. A. Status of Red Blood Cell Indices in Iron Deficiency Anemia and β Thalassaemia Trait: A Comparative Study. Dhaka Shishu (Children) Hospital Journal. 2022;37(1):9–14. DOI: https://doi.org/10.3329/dshj.v37i1.59087

17. Arthington J. D., Ranches J. Trace Mineral Nutrition of Grazing Beef Cattle. Animals. 2021;11(10):2767. DOI: https://doi.org/10.3390/ani11102767

18. Strizhkova M. V., Konovalova T. V., Korotkevich O. S., Petukhov B. L., Zaiko O. A., Zheltikov A. I., Kochneva M. L. The effect of the genotype of holstein bulls on the phosphorus content in the liver of descendants. *Vestnik NGAU* (*Novosibirskiy gosudarstvenniy agrarniy universitet*) = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2024;(4):272–279. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-272-279

Сведения об авторах

✉ **Барсукова Мария Андреевна**, кандидат биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, д. 160, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630039, e-mail: rector@edubiotech.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0000-7022-6011,** e-mail: mariabar23@yandex.ru

Нарожных Кирилл Николаевич, кандидат биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, д. 160, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630039, e-mail: rector@edubiotech.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1519-697X**

Иванова Оксана Александровна, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, д. 160, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630039, e-mail: rector@edubiotech.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0002-9891-4726**

Information about the authors

✉ **Maria A. Barsukova**, PhD in Biology, Novosibirsk State Agrarian University, 160, Dobrolyubova St., Novosibirsk, Russian Federation, 630039, e-mail: rector@edubiotech.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0000-7022-6011,** e-mail: mariabar23@yandex.ru

Kirill N. Narozhnykh, PhD in Biology, Novosibirsk State Agrarian University, 160, Dobrolyubova St., Novosibirsk, Russian Federation, 630039, e-mail: rector@edubiotech.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1519-697X**

Oksana A. Ivanova, senior lecturer, Novosibirsk State Agrarian University, 160, Dobrolyubova St., Novosibirsk, Russian Federation, 630039, e-mail: rector@edubiotech.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0002-9891-4726**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.164–177
УДК 636.082.12:575.113.2:636.234.1

Причины выбытия коров в зависимости от уровня гомозиготности и геномного инбридинга отцов

© 2026. И. С. Недашковский[1]✉, А. Ф. Контэ[1], А. А. Сермягин[2], Д. Н. Кольцов[3], В. В. Волкова[1]

[1]*ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация,*

[2]*Всероссийский 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,*

[3]*ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Российская Федерация*

Изучены причины выбытия коров в зависимости от уровня гомозиготности и геномного инбридинга быков-отцов. Проведен анализ генетического материала 307 племенных быков голштинской и черно-пестрой пород с количеством дочерей 34280 голов. Для расчета уровня гомозиготности (Ca) использовали мультиплексную панель из 12 микросателлитных локусов: TGLA227, BM2113, TGLA53, ETH10, SPS115, TGLA122, INRA23, TGLA126, BM1818, ETH3, ETH225, BM1824 с непосредственным расчетом индивидуальной гомозиготности как отношения количества гомозиготных локусов к общему количеству анализируемых локусов с полными данными. Для геномного инбридинга (F_{ROH}) использовали биочип Illumina Bovine SNP50K v2 BeadChip плотностью 54609 SNP. Коэффициент F_{ROH} определяли как отношение суммы всех длин ROH в миллионах пар нуклеотидов (м.п.н.) в геноме быка-производителя к общему размеру генома в м.п.н. для 29 аутосом крупного рогатого скота, перекрываемых SNP, выраженному в процентах. Повышение уровня Ca сопровождается увеличением показателей выбраковки животных из-за проблем с конечностями на 0,882%. К остальным наиболее значимым в процентном выражении причинам можно отнести: трудные роды и осложнения, увеличение на 0,263 %; остеомаляция – на 0,172 %; зообрак – на 1,818 %; прочие неинфекционные болезни – на 0,533 %; маститт – 0,384 %. С ростом уровня F_{ROH} увеличивается процент выбытия животных по таким причинам, как: болезни конечностей – на 2,019 %; трудные роды и осложнения – на 1,471 %; гинекологические болезни – на 0,964 %; болезни дыхательной системы – на 0,146 %; атрофия вымени – 0,696 %; бурсит – на 0,364 %; маститт – на 0,774 %; кетоз – на 0,044 %; зообрак – на 4,841 %; артрит – на 0,394 % и другие. Можно констатировать, что в группах инбредных животных зафиксировано повышение частоты выбытия на 0,011–4,840 %. Отмечено достоверное различие между группами по всем выборкам по критерию Бартлетта и g-критерию Кохрена на уровне значимости α = 0,05. Все расчетные значения Хи-квадрата Пирсона во всех группах были ниже критического уровня, при этом p-value превышал 0,05.

Ключевые слова: *голштинский скот, выбраковка, паттерны гомозиготности, Fx, Ca, F_{ROH}*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (№124020200029-4, FGGN-2024-0013).

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. Причины выбытия коров в зависимости от уровня гомозиготности и геномного инбридинга отцов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):164–177. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.164-177

Поступила: 24.07.2025 Принята к публикации: 12.02.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Reasons for the culling of cows depending on the level of homozygosity and genomic inbreeding of fathers

© 2026. Igor S. Nedashkovsky[1]✉, Aleksandr F. Konte[1], Aleksandr A. Sermyagin[2], Dmitry N. Koltsov[3], Valeria V. Volkova[1]

[1]*Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region, Russian Federation,*

[2]*Russian 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,*

[3]*Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation*

The causes of cow mortality were studied depending on the level of homozygosity and genomic inbreeding of sires. Genomic data from 307 Holstein and Black-and-White bulls with 34,280 daughters were used. To calculate the homozygosity level (Ca), a multiplex panel of 12 microsatellite loci was used: TGLA227, BM2113, TGLA53, ETH10, SPS115, TGLA122,

INRA23, TGLA126, BM1818, ETH3, ETH225, BM1824 with direct calculation of individual homozygosity as the ratio of the number of homozygous loci to the total number of analyzed loci with complete data. For genomic inbreeding (F_{ROH}), the Illumina Bovine SNP50K v2 BeadChip with a density of 54,609 SNPs was used, F_{ROH} was calculated as the ratio of the sum of all ROH lengths in millions of nucleotide pairs (mb) in the sire genome to the total genome size in mb for 29 bovine autosomes overlapping the SNPs, expressed as a percentage. With increasing Ca, the mortality rate of cows due to limb diseases increases by 0.882 %. Other most significant causes in percentage terms include: difficult births and complications, an increase of 0.263 %, osteomalacia by 0.172 %, zoobrak by 1.818 %, other non-infectious diseases by 0.533 %, mastitis 0.384 %. With the increase of F_{ROH}, the percentage of animals leaving for the following reasons increases: limb diseases by 2.019 %, difficult labor and complications by 1.471 %, gynecological diseases by 0.964 %, respiratory diseases by 0.146 %, udder atrophy 0.696 %, bursitis 0.364 %, mastitis 0.774 %, ketosis by 0.044 %, zoobrak by 4.841 %, arthritis by 0.394 %, and other reasons. It can be stated that the frequency of leaving in groups of inbred animals increased by 0.011–4.840. A reliable difference was noted between the groups for all samples according to the Bartlett criterion and Cochran's g-test at a significance level of α = 0.05. All calculated Pearson Chi-square values in all groups were less than critical, and the p-value was more than 0.05.

Keywords: *Holstein breed, culling, patterns of homozygosity, Fx, Ca, F_{ROH}*

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 (No.124020200029-4, FGGN-2024-0013).

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

For citation: Nedashkovsky I. S., Konte A. F., Sermyagin A. A., Koltsov D. N., Volkova V. V. Reasons for the culling of cows depending on the level of homozygosity and genomic inbreeding of fathers. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):164–177. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.164-177

Received:24.07.2025 Accepted for publication: 12.02.2026 Published online: 27.02.2026

По оценкам Организации Объединенных Наций (ООН), к 2050 году численность населения мира составит 9,7 млрд человек. Ввиду растущего роста населения производство продуктов питания в идеале должно утроиться, чтобы предотвратить массовый дефицит продовольствия. Молочное производство играет ключевую роль в решении и продвижении глобальной продовольственной и пищевой безопасности. Молоко служит основным источником белка, кальция и фосфора для многих семей в развивающихся странах с быстрорастущим населением. Следовательно, ожидается увеличение объемов производства молока примерно на 26 % в течение следующих 10 лет, что выведет отрасль на показатель 1077 млн тонн молока к 2050 году. Однако рост и развитие молочной промышленности ограничены многими факторами, среди которых выбраковка и падеж молочных коров [1].

В молочном скотоводстве выбраковка при традиционных технологиях содержания обычно составляет 15–20 %, из них 7–8 % коров бракуются по возрасту, 5–6 % – по яловости и случайным заболеваниям, 11–12 % – по продуктивности, а при интенсивных технологиях – 25–30 %. С интенсификацией отрасли и ростом продуктивности изменилось и процентное соотношение выбытия коров по различным причинам. При этом в 2…3 раза снизился процент выбраковки по уровню продуктивности – сказывается улучшение выращивания молодняка, резко вырос процент выбраковки из-за проблем с конечностями и увеличился – по гинекологическим патологиям и болезням вымени [2].

Высокий процент выбраковки коров по неизвестной причине указывает на наличие у производителей молока ограничений в ведении учета выбраковки внутри хозяйства и отчетности по этому показателю. Репродуктивные нарушения (16,8 %), мастит (10,6 %) и проблемы с конечностями (6,88 %) были основными причинами принудительной выбраковки коров в 2014–2019 гг. Аналогичным образом, бесплодие (20,4 %), проблемы со здоровьем вымени (14,7 %) и заболевания конечностей (12,2 %) были названы основными причинами выбытия коров в Германии в период с 2010 по 2013 г. Данная ситуация оставалась стабильной в течение продолжительного времени. В метаанализе, проведенном К. У. Р. Комптоном с соавт. (C. W. R. Compton et al.) по 51 опубликованной статье, касающейся 54 исследований в 22 странах в период с 1989 по 2014 г., отмечено, что показатели в канадской базе данных по выбраковке коров не менялись в течение почти двух десятилетий, начиная с середины 1980-х годов, где проблемы с выменем и воспроизводством занимали лидирующие позиции. При этом произошло снижение количества выбраковки по причине низкой молочной продуктивности. Аналогичная ситуация сохранилась в Канаде в период с 1997 по 2019 г., где процент вынужденной выбраковки из-за репродуктивных патологий, мастита и проблем с конечностями оставался стабильным, в то время как процент выбраковки из-за низких надоев молока снижался до 2008 года, после чего наблюдалась небольшая восходящая тенденция. Данное сокращение, вероятно, связано с отбором коров

по геному с высокой молочной продуктивностью, что снижает относительный риск выбраковки[1] [3, 4].

Основными причинами выбытия коров голштино-фризской породы в Польше являлись: репродуктивные расстройства – 40 %; болезни вымени – 13–15 %; заболевания костяка и конечностей – более 10 %. Кривые выживаемости коров отдельных категорий выбраковки по методу Каплана-Мейера имели схожую форму. Наибольшее влияние на выбытие животных оказали факторы: возраст первого отела, продолжительность лактации, интервал между отелами, субиндекс продуктивности, племенная ценность по долголетию, темперамент и среднесуточный удой [5].

По данным наших зарубежных партнеров, общий коэффициент выбраковки молочных коров в Эстонии составил 26,24 %, а в Нидерландах – 28,0 %. Наиболее распространенными причинами выбраковки были заболевания ног (26,4 %), далее заболевания вымени (22,6 %), нарушения обмена веществ и пищеварения (18,1 %) и проблемы с фертильностью (12,5 %). К факторам, предшествующим выбытию животных, относятся: голштинская порода в целом, поздние отелы, меньшая племенная ценность по молочной продуктивности, поздний возраст первого отела, более длительный интервал между отелами, необходимость родовспоможения, мертворождение и рождение двойни. Такие показатели, как низкий надой молока, количество соматических клеток более 200 000 в мл и соотношение жир/белок более 1,5 при первом пробном доении после отела являются предпосылкой для последующей выбраковки коров во время лактации. Коровы из крупных высокопродуктивных стад имеют бóльшую предрасположенность к выбраковке [6, 7].

Анализ данных, охватывающий период с 1996 по 2020 г., по голштинской породе, разводимой в Канаде, показал выбраковку 3 096 872 коров из 9 683 стад. Репродуктивные проблемы были основной причиной выбытия, на которую приходилось 23,02 %, далее следовали проблемы, связанные с низкой молочной продуктивностью (20,82 %), здоровьем в целом (20,39 %), проблемы с экстерьером (13,69 %), экономические факторы (13,10 %), несчастные случаи (5,67 %), возрастные причины (1,67 %) и проблемы с молокоотдачей (1,63 %). Почти 58 % коров были забиты после 47-месячного возраста. Наблюдаемая частота выбраковки по экономическим причинам была ниже, чем ожидалось с 1996 по 2014 г. и выше, чем в период с 2015 по 2020 г. Наибольшую частоту выбраковки имели проблемы с воспроизводством: в осенний период – 24,54 %; зимний – 24,02 %; весенний – 22,51 %, тогда как проблемы со здоровьем преобладали в летнем сезоне – 22,51 %. Небольшой срок продуктивного использования (25,50 %) и низкая молочная продуктивность (27,71 %) были наиболее частыми причинами выбраковки в провинциях Квебек и Онтарио. Репродуктивные патологии чаще всего встречались во всех климатических зонах на основе климатической классификации Кеппена, за исключением Csb (сухой летний субтропический или средиземноморский климат) и Bsk (степной климат средних широт), которые соответствуют небольшим регионам Канады, где низкая молочная продуктивность была наиболее частой причиной выбраковки (29,42 и 21,56 % соответственно). Нарушения репродуктивной системы и молочная продуктивность являлись основными причинами выбраковки в большинстве экозон, за исключением Бореального щита и Атлантического морского побережья, где проблемы со здоровьем имели самую высокую частоту (25,12 и 23,75 % соответственно) [8].

Из данных О. В. Горелика с соавт., взятых в одном из хозяйств Московской области, занимающимся разведением голштинизированного черно-пестрого скота видно, что основными причинами выбраковки коров являются: травмы и хирургические заболевания – 33,7 %; патология молочной железы – 21,7 %, патология репродуктивной системы и селекционные признаки, а также яловость – по 16,3 %. Детализация причин выбытия маточного поголовья показала, что наиболее частыми из них являются трудные роды и послеродовые осложнения, мастит, бурсит, яловость. Установлено, что больше всего от общего поголовья животных было выбраковано в линии Пабст Говернер 882933, что объясняется не долей брака, а небольшим количеством животных этой линии. Основной причиной выбраковки коров этой линии являлась патология опорно-двигательной системы, а именно травмы конечностей: разрыв и растяжение связок – 57,1 %. Анализ причин выбраковки коров других линий показал, что

[1]Database. Culling and Replacement Rates in Dairy Herds in Canada. 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://www.dairyinfo.gc.ca/eng/dairy-statistics-and-market-information/dairy-animal-genetics/culling-and-replacement-rates-in-dairy-herds-in-canada/?id=1502475693224 (дата обращения: 25.06.2025).

среди линии Вис Бэк Айдиал 1013485 наблюдалось больше, чем в других, животных с патологией опорно-двигательной системы (37,5 %); линии Рефлекшн Соверинг 198998 – несчастных случаев и травм (34,6 %); в группе коров линии Монтвик Чифтейн 95679 отмечено значительное количество случаев патологии молочной железы (27,2 %) и яловость (21,2 %) от общего количества выбракованных животных [9].

Анализ данных сельскохозяйственных предприятий Свердловской области выявил, что основными причинами выбытия коров из основного стада являются заболевания вымени 14,7 %, снижение продуктивности – 15,3 % и гинекологические заболевания – 25,6 %. Высокий уровень выбраковки коров негативно сказывается на рентабельности молочного производства. Чтобы минимизировать потери, требуется выполнение противомаститных программ, вследствие чего увеличится продуктивное долголетие. Также необходима дальнейшая селекция черно-пестрой породы по пригодности к машинному доению, включая формы, размер сосков и вымени [10].

В Пышминском районе Свердловской области выбытие коров черно-пестрой породы из стада чаще всего происходит из-за болезней вымени – 24,1 %, заболеваний конечностей – 20,5 %, нарушений работы репродуктивной системы – 22 %, по причине травм и несчастных случаев бракуется 7,8 %. Наибольший удельный вес в структуре выбытия имеют заболевания половых органов, в основном у коров второй лактации – 27,6 %, у первотелок – 23,2 %; болезни вымени с возрастом имеют тенденцию к увеличению с первой до пятой лактации. Наибольшее количество коров по заболеваниям ног выбыло во время четвертой лактации – 27,5 %. В общем, причины заболеваемости и выбытия коров следующие: первая – заболевания, вызванные нарушениями кормления, условий содержания и доения – более 80 %; вторая – травматизм – 7,7 %; третья – последствия тяжело протекающих отелов – 5,5 %; четвертая – продажа населению – 2,6 % [11].

Анализ, проведенный на коровах айрширской породы с вариацией на 13 классов по причине выбытия со средним удоем за 1-ю лактацию 8601 кг молока, что меньше сверстниц на 124 кг, и качественными показателями 3,97 % жира и 3,32 % белка, установил, что в среднем по выборке коэффициент инбридинга равен 3,50 % с вариацией по группам от 2,16 до 4,59 %. Больше всего сверстницам по удою за 1-ю лактацию уступали коровы со следующими причинами выбытия: низкая продуктивность и зообрак (-415 кг); болезни вымени (-222 кг) и конечностей (-144 кг); гинекологические заболевания и яловость (-134 кг). Взаимосвязь инбридинга с абсолютными показателями и племенной ценностью продуктивных признаков низкая, но отрицательная с удоем (-0,022 и -0,014 соответственно) и положительная с жирностью (+0,053 и +0,036) и содержанием белка в молоке (+0,048 и +0,027). С использованием однофакторного дисперсионного анализа выявлено достаточно высокое и достоверное совокупное влияние метода выведения и степени инбридинга на удой и причины выбытия анализируемых животных (35,1 и 24,8 % соответственно). Распределение выбывших по разным причинам коров в зависимости от метода выведения и степени инбридинга показало, что среди них больше коров кроссированных (59,7 %) по сравнению с коровами, полученными линейным разведением (40,3 %). Доля выбытия в первой группе больше по причине гинекологических заболеваний и яловости (19,1 против 18,5 %), болезней конечностей (14,8 против 12,9 %), болезней обмена веществ (15,6 против 12,2 %). При рассмотрении степени инбридинга вне зависимости от метода выведения выявлено, что бóльшую часть выборки составляют коровы с умеренной степенью инбридинга (63,2 %) против 28,3 % с близким родством, в группе умеренно инбридированных коров по основным причинам выбытия доля животных больше на 1,4–6,6 % [12].

Стоит отметить, что научных работ по оценке влияния уровня инбридинга на причины выбытия коров почти нет, особенно с геномным инбридингом, что задает нашему исследованию новизну и актуальность по причине постоянного увеличения среднего уровня инбридинга быков-производителей в популяции на протяжении последних десятилетий.

Увеличение продолжительности жизни коров позволит снизить затраты на сохранность поголовья и повысить маржинальность (рентабельность) комплекса, одновременно улучшая как благополучие животных, так и качество жизни, способствуя более устойчивому развитию молочной промышленности [13].

Цель исследования – изучить влияние уровня гомозиготности и геномного инбридинга на показатели выбытия черно-пестрого и голштинского скота в популяции Московской области.

Научная новизна – применение полногеномных данных по SNP-чипам для оценки влияния инбридинга на показатели выбраковки, а также выявление специфических закономерностей влияния уровня гомозиготности на различные причины выбытия и установление количественных показателей увеличения выбраковки при различных уровнях инбридинга. Определение пороговых значений уровня гомозиготности, оказывающих негативное влияние на показатели выбраковки. Выявление наиболее чувствительных к инбридингу причин выбытия животных.

Материал и методы. Рассмотрены причины выбытия 34280 коров – дочерей 307 быков-производителей, участвующих в селекционном процессе в Московской области, прошедших процедуру генотипирования по STR (*Short Tandem Repeats*, микросателлиты) и SNP-маркерам *(Single Nucleotide Polymorphism*, однонуклеотидные полиморфизмы). Коэффициент инбридинга (Fx) рассчитывали по формуле Райта-Кисловского с умножением на 100 %. Далее, коэффициент инбридинга быков присваивали их дочерям. Весь массив данных ранжировали на 2 группы: в первую для классического расчета, по данным племенного учета, вошли аутбредные быки и животные с коэффициентом инбридинга до 3,13 % включительно (Fx = 0–3,13 %), во вторую – быки с Fx = 3,22–12,5 %.

Для расчета по STR-маркерам использовали уровень гомозиготности (Ca) быков-производителей черно-пестрого и голштинского скота Московской области. Выделение геномной ДНК проводили из спермы быков с помощью колонок Nexttec (Nexttec Biotechnologie GmbH, Германия) в соответствии с рекомендациями производителя. В качестве ДНК-маркеров использовали мультиплексную панель из 12 микросателлитных локусов: TGLA227, BM2113, TGLA53, ETH10, SPS115, TGLA122, INRA23, TGLA126, BM1818, ETH3, ETH225, BM1824. Продукты амплификации для их последующей детекции подвергали анализу на капиллярном генетическом анализаторе ABI 3130xl Genetic Analyzer («Applied Biosystems», «Life technologies», США). Информацию о длине аллелей по исходным данным получили с помощью программы Gene Mapper v.4 («Applied Biosystems», «Life technologies», США). Статистическую обработку результатов проводили в программе GenAlEx 6.5.1. [14]. Непосредственный расчет индивидуальной гомозиготности проводили как отношение количества гомозиготных локусов к общему количеству анализируемых локусов, причем использовали локусы с полными данными. Локусы, в которых значились нулевые аллели 0/0, не принимали в расчет при отношении к количеству гомозиготных вариантов. Показатель уровня гомозиготности быков присваивался дочерям. Весь массив данных ранжировали на группы – в первую группу вошли особи с Ca = 0–30 %, во вторую – особи с Ca = 33–77 %.

Для расчета по SNP-маркерам образцы ДНК были получены от быков-производителей изучаемой выборки скота Подмосковья. Для исследований на основе геномной информации животных генотипировали с помощью биочипа Illumina Bovine SNP50K v2 BeadChip плотностью 54609 SNP. Анализ паттернов гомозиготности (ROH) проводили с использованием пакета Plink 1.9 [15]. Размер паттернов гомозиготности у быков-производителей для изучения генетической архитектуры популяций находили с применением пакета cgaTOH [16]. ROH определяли при условии, если 15 или более последовательных гомозиготных SNP присутствовали на исследуемом участке генома при плотности не менее 1 SNP на каждые 100 kb с промежутками между ними не более 1000 kb. Уровень геномного инбридинга рассчитывали как отношение суммы всех длин ROH в миллионах пар-нуклеотидов (м.п.н.) в геноме быка-производителя к общему размеру генома в м.п.н. для 29 аутосом крупного рогатого скота, перекрываемых SNP, выраженному в процентах. При использовании 50K панели средней плотности происходит переоценка коротких (1–4 м.п.н.) ROH, тогда как 600K (Bovine HD) панель высокой плотности недооценивает ROH более 8 м.п.н. [17]. Следовательно, для корректной оценки ROH на 50K панели необходимо учитывать ROH более 4 м.п.н. [18]. В связи с этим, весь массив дочерей, после присвоения геномного коэффициента инбридинга (*inbreeding coefficient determined using ROH*, F_{ROH}) отца, был разделен на две группы по величине этого показателя: в первую входили животные с F_{ROH} = 0,55–1,01 %, во вторую – F_{ROH} = 1,11–17,71 %.

Результаты и их обсуждение. Для понимания основных зависимостей был произведен расчет причин выбытия коров совместно с коэффициентом инбридинга, рассчитанным по данным родословного учета посредством формулы Райта-Кисловского, процентное выражение которой используется в базах племенного учета ИАС СЕЛЭКС [19]. Исходя из

названия статьи и общего смысла публикации, классический расчет дается для наглядности и не является основным. В данном исследовании упор ставится на современные методы анализа посредством информации по геному, где исключены все возможные неточности ведения баз данных племенного учета. Поскольку в расчетах использованы данные племенных быков-производителей, родословная каждого из них не вызывает сомнения, тем не менее все животные были проверены вручную на влияние человеческого фактора, а именно допущения ошибок и неточностей. Верификация записей о происхождении по отцовской и материнской линиям, а именно число предков от общего родоначальника по отцовской и материнской линиям заложено в формулу. Коэффициент инбридинга определяли, используя данные по четырем рядам предков. В первую группу вошли аутбредные животные и быки с коэффициентом инбридинга до 3,13 %. Количество животных с нулевым коэффициентом инбридинга составило 8974 головы, что эквивалентно 31,337 % от исследуемой группы. Градация в группах (табл. 1) обусловлена максимально рекомендованным процентом инбридинга при линейном разведении или 1/8 шага по общепринятой классификации путевых коэффициентов Райта, а также его незначительным уровнем для оказания негативного влияния при высоких степенях, приводящих к инбредной депрессии. Возможность формирования группы с коэффициентом инбридинга от 3,22 до 6,69 % отвергается в связи с малым количеством животных, и остается при таком объединении группа с Fx = 7,03–12,0 % и критическими показателями нормальности распределения получаемых данных, обусловленных критериями Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. В связи с этим, объединение групп в одну – вторую с численностью 5643 голов и Fx = 3,22–12,5 %, которая и так в 5 раз меньше по количеству животных, чем первая, является обоснованным.

Основными причинами выбытия, отмеченными во всех градациях, были болезни конечностей, трудные роды, осложнения и зообрак. Причины выбытия коров даны в точности как в системе ИАС СЕЛЭКС, что исключает вопрос по классификации данных и объединения их в какие-либо группы, за исключением прочих причин куда вошли: племпродажа, продажа населению, отравление кормами, несчастные случаи, отравление пестицидами и удобрениями, спецзабой, причина не выяснена, прочие. Акцент на отдельных причинах выбытия, а не их системная группировка дает возможность наиболее точно оценить влияние инбридинга, что и является целью нашего исследования (табл. 1).

Анализ результатов показал, что с увеличением коэффициента инбридинга во второй группе по сравнению с первой увеличивался процент выбытия животных по таким показателям, как болезни конечностей – на 0,489 %, трудные роды и осложнения – на 0,861 %, зообрак – на 2,735 %, болезни пищеварительной системы – на 0,522 %, перикардит – на 0,308 %, прочие неинфекционные болезни – на 0,19 %, мастит на – 0,145 %, бурсит – на 0,144 % и другие причины, которые имели незначительное процентное увеличение (табл. 1).

В наших исследованиях рассматривался вопрос установления влияния на причины выбытия следующих факторов – коэффициента инбридинга, уровня гомозиготности и геномного инбридинга, т. е. подразумевающее сравнение нескольких дисперсий в зависимости от разного уровня гомозиготности. Попарно сравнивать дисперсии (различия) мы посчитали некорректным. В дисперсионном анализе для сравнения нескольких дисперсий существует ряд специальных критериев, наиболее понятных из которых g-критерий Кохрена, предполагающий независимость распределения данных, прошедших тесты на нормальность (Колмогорова-Смирнова; Шапиро-Уилка). Критерий Бартлетта в данном случае являлся косвенно проверяющим. Отмечено достоверное различие между исследуемыми группами по средствам непараметрической статистики по g-критерию Кохрена с помощью G-теста и критерия Бартлетта на уровне значимости $\alpha = 0,05$. По этим критериям разница между выборками считается достоверной, если G>Gкр (G критическое значение) и T>Tкр (T критическое значение). В наших расчетах это условие соблюдается: по Кохрену G = 0,91, Gкр = 0,31; по Бартлетту T = 187,05, Tкр = 40,11.

Нами был проведен расчет Хи-квадрата Пирсона посредством математического группирования данных. Согласно результатам, наблюдаемая и ожидаемая частоты согласованны, нулевая гипотеза не была отклонена, а, следовательно, соответствует полученным данным. Расчетное значение $\chi^2 = 16,328$ при χ^2 (критическом) = 31,143 и p-value = 0,635, что больше p = 0,05.

Таблица 1– **Выбытие коров в зависимости от коэффициента инбридинга отцов, рассчитанного по данным родословного учета (коэффициент Райта-Кисловского), % /**
Table 1 – **Cow culling depending on the inbreeding coefficient of fathers, calculated based on pedigree data (Wright-Kislovsky coefficient), %**

Причина выбытия / Culling reason (n = 34280)	*Коэффициент инбридинга (Fx) / Inbreeding coefficient (Fx)*	
	0–3,13 (n = 28637, или 83,54 %)	3,22–12,5 (n = 5643, или 16,46 %)
Грыжа / Hernia	0,007	0,018
Эмфизема / Emphysema	0,021	0,035
Туберкулез / Tuberculosis	0,010	0,035
Пиометра / Pyometra	0,014	0,035
Плеврит / Pleurisy	0,045	0,053
Аборт / Abortion	0,105	0,106
Ацидоз рубца / Scar acidosis	0,080	0,124
Скручивание матки / Uterine torsion	0,108	0,124
Выпадение влагалища / Vaginal prolapse	0,080	0,160
Сальпингит / Salpingitis	0,154	0,160
Недостатки экстерьера / Exterior defects	0,080	0,177
Болезни сердечно-сосудистой системы / Cardiovascular diseases	0,112	0,177
Эндометрит / Endometritis	0,182	0,248
Хирургические болезни / Surgical diseases	0,136	0,248
Бронхопневмония / Bronchopneumonia	0,314	0,479
Артрит / Arthritis	0,541	0,674
Травмы конечностей / Extremity injuries	0,363	0,692
Кетоз / Ketosis	0,716	0,887
Абсцесс / Abscess	0,870	1,170
Бурсит / Bursitis	1,736	1,880
Мастит / Mastitis	1,788	1,933
Прочие неинфекционные болезни / Other non-infectious diseases	2,169	2,359
Перикардит / Pericarditis	3,576	3,884
Яловость / Infertility	4,124	4,185
Болезни пищеварительной системы / Digestive system diseases	6,394	6,916
Зообрак / Zoobrak	4,837	7,572
Трудные роды и осложнения / Difficult labor and complications	7,261	8,122
Болезни конечностей / Extremity diseases	13,467	13,956
Прочее / Other	50,709	43,589

Для формирования групп в расчете зависимости выбытия коров от уровня гомозиготности отцов руководствовались принципом, аналогичным классическому варианту при использовании коэффициента инбридинга, а именно: в первую группу вошли дочери полностью гетерозиготных быков-производителей и животные с уровнем гомозиготности до 30 %, во вторую – коровы с Са = 33–77 %. Количество полностью гетерозиготных животных с Са = 0 % составило 2876 голов, или 12,75 % от исследуемой группы (табл. 2).

Результаты анализа данных таблицы 2 показывают схожие зависимости с результатами классического расчёта на основе родословных (коэффициент Райта-Кисловского). Так, выбытие коров по причине болезней конечностей имеет самый большой процент

по сравнению с другими причинами и увеличивается на 0,882 % во второй группе по сравнению с первой группой искомой градации. К остальным наиболее значимым в процентном выражении причинам можно отнести: трудные роды и осложнения – увеличение на 0,263 %, остеомаляция – на 0,172 %, зообрак – на 1,818 %, прочие неинфекционные болезни – на 0,533 %, мастит – на 0,384 % и другие причины, имеющие незначительное увеличение в процентном выражении. Отмечено достоверное различие между первой и второй группами по Кохрену G = 0,68 с её критическим значением Gкр = 0,32, и по Бартлетту T=145,09 при Ткр = 37,65 при уровне значимости α = 0,05.

Таблица 2 – **Выбытие коров в зависимости от уровня гомозиготности отцов, рассчитанного по STR-маркерам, % /**
Table 2 – **Cow culling depending on the level of homozygosity of fathers calculated by STR markers, %**

Причина выбытия / Culling reason (n = 34280)	*Уровень гомозиготности (Ca) / Homozygosity level (Ca)*	
	0–30 (n = 22556, или 65,80 %)	33–77 (n = 11724, или 34,20 %)
Туберкулез / Tuberculosis	0,009	0,026
Плеврит / Pleurisy	0,035	0,068
Клостридиоз / Clostridiosis	0,040	0,060
Старость / Old age	0,053	0,060
Выпадение влагалища / Vaginal prolapse	0,089	0,102
Смещение сычуга / Abomasal displacement	0,093	0,136
Скручивание матки / Uterine torsion	0,106	0,119
Хирургические болезни / Surgical diseases	0,129	0,205
Сальпингит / Salpingitis	0,137	0,188
Послеродовой парез / Postpartum paresis	0,195	0,256
Перитонит / Peritonitis	0,226	0,316
Бронхопневмония / Bronchopneumonia	0,270	0,478
Флегмона / Phlegmon	0,341	0,435
Тимпания рубца / Tympania of the rumen	0,386	0,554
Травмы конечностей / Extremity injuries	0,395	0,461
Артрит / Arthritis	0,554	0,580
Кетоз / Ketosis	0,705	0,819
Лейкоз / Leukosis	1,428	1,800
Мастит / Mastitis	1,680	2,064
Прочие неинфекционные болезни / Other non-infectious diseases	2,017	2,550
Малопродуктивность / Low productivity	3,019	3,062
Яловость / Infertility	4,110	4,179
Зообрак / Zoobrak	4,664	6,482
Остеомаляция / Osteomalacia	6,455	6,627
Трудные роды и осложнения / Difficult labor and complications	7,311	7,574
Болезни конечностей / Extremity diseases	13,243	14,125
Прочее / Other	52,31	46,673

Произведенный расчет Хи-квадрата Пирсона показал, что наблюдаемая и ожидаемая частоты согласованны, нулевая гипотеза не была отклонена, а, следовательно, не противоречит наблюдаемым данным. Расчетное значение χ^2 = 37,452 при χ^2 (критическом) = 37,652 и p-value = 0,052, что больше p = 0,05.

В связи с тем, что геномный коэффициент инбридинга более точен по сравнению с информацией, полученной по родословным данным и данным микросателлитных профилей, о чем говорит отсутствие в выборке животных с нулевым коэффициентом геномного инбридинга несмотря на то, что при расчетах, показанных

ранее, имелись особи с Fx = 0 % и Ca = 0 %, а выборка при этом не менялась. Группирование на аутбредных животных и животных с незначительным коэффициентом геномного инбридинга (до 1 %) против всех остальных логично и обоснованно по причине точного понимания наличия влияния F_{ROH} на причины выбраковки, т. е. либо особи имеют процент инбредности, который оказывает влияние на причины выбытия, либо нет. Наличие животных с F_{ROH} до 1 % или 1,01 % по факту в первой группе обусловлено критическим пониманием незначительности возможного влияния уровня геномного инбридинга на исследуемые показатели. Следовательно, мы опять делим животных на две группы, а именно на аутбредных животных и животных с незначительным коэффициентом геномного инбридинга (до 1 %) против всех остальных. Количество животных с F_{ROH} = 0,55 % составило 85 голов, или 14,886 % от исследуемой группы. Фактические группы, исходя из реальных коэффициентов геномного инбридинга у исследуемых животных, будут иметь следующий вид: в первую группу войдут быки-производители с F_{ROH} = 0,55…1,01 %, во вторую – с F_{ROH} = 1,11…17,71 %. Подобная градация обусловлена отличием между группами с незначительным коэффициентом геномного инбридинга (до 1 %), и остальными инбредными животными (табл. 3). Анализ литературных данных показал, что градация на аутбредных и инбредных животных в целом свойственна отечественным ученым и используется для понимания влияния инбридинга на рассматриваемые признаки, такие как молочная продуктивность, воспроизводство или экстерьер [20, 21].

Таблица 3 – **Выбытие коров в зависимости от коэффициента геномного инбридинга отцов, рассчитанного по SNP-маркерам, % /**
Table 3 – **Cow culling depending on the genomic inbreeding coefficient of fathers, calculated using SNP markers, %**

Причина выбытия / Culling reason (n = 34280)	*Коэффициент геномного инбридинга (F_{ROH}) / Genomic inbreeding coefficient (F_{ROH})*	
	0,55–1,01 (n = 571, или 1,66 %)	1,11–17,71 (n = 33709, или 98,34 %)
Артрит / Arthritis	0,175	0,570
Травмы вымени / Udder injuries	0,175	0,320
Абсцесс / Abscess	0,350	0,929
Зообрак / Zoobrax	0,525	5,367
Кетоз / Ketosis	0,701	0,745
Мастит / Mastitis	1,051	1,824
Бурсит / Bursitis	1,401	1,765
Атрофия вымени / Udder atrophy	1,576	2,272
Болезни дыхательной системы / Respiratory system diseases	3,503	3,649
Яловость / Infertility	3,853	4,138
Гинекологические болезни / Gynecological diseases	5,604	6,568
Трудные роды и осложнения / Difficult labor and complications	5,954	7,425
Болезни конечностей / Limb diseases	11,559	13,578
Прочее / Other	63,573	50,85

Анализ данных, приведенных в таблице 3, показал, что с возрастанием коэффициента геномного инбридинга увеличивается процент выбытия животных по причинам, схожим с результатами двух, приведенных выше расчетов. Таким образом, можно отметить, что во второй группе по сравнению с первой увеличивается выбытие по таким причинам, как болезни конечностей – на 2,019 %, трудные роды и осложнения – на 1,471 %, гинекологические болезни – на 0,964 %, болезни дыхательной системы – на 0,146 %, атрофия вымени – на 0,696 %, бурсит – на 0,364 %, мастит – на 0,774 %, кетоз – на 0,044 %, зообрак – на 4,841 %, артрит – на 0,394 % и другие причины с низким процентным изменением.

Между исследуемыми группами отмечено достоверное различие по Кохрену G = 0,51 при Gкр = 0,49 и по Бартлетту T = 39,25 при Ткр = 22,36 при уровне значимости α = 0,05.

Для более лучшей визуализации построен график причин выбытия животных в зависимости от коэффициента инбридинга по Райту-Кисловскому и геномного инбридинга, рассчитанного по ROH паттернам (рис.).

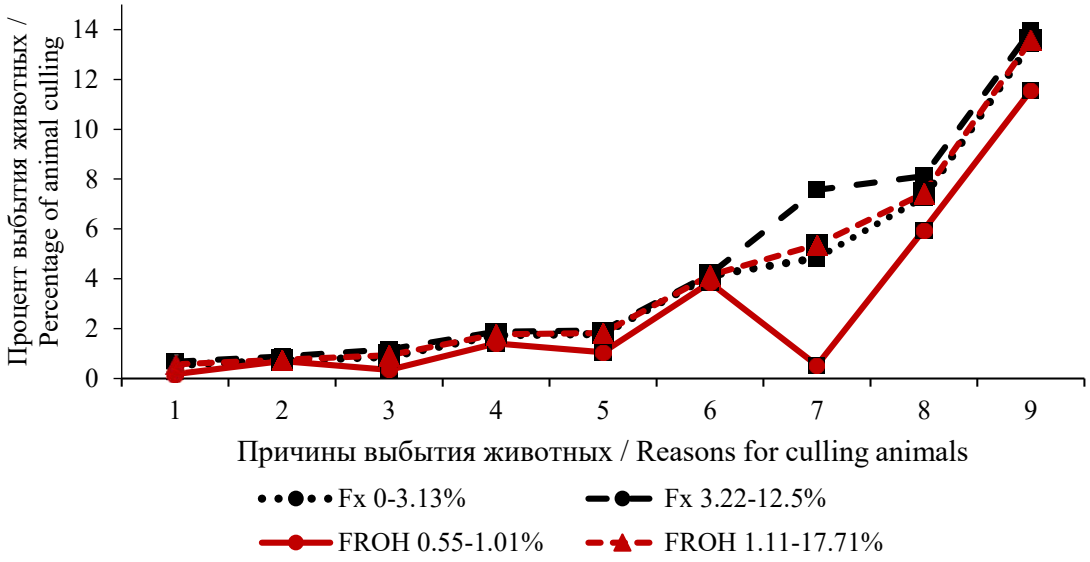


Рис. **Выбытие животных в зависимости от коэффициента инбридинга Райта-Кисловского (Fx) и геномного инбридинга (inbreeding coefficient determined using ROH, F_{ROH}): 1 – Артрит; 2 – Кетоз; 3 – Абсцесс; 4 – Бурсит; 5 – Мастит; 6 – Яловость; 7 – Зообрак; 8 – Трудные роды и осложнения; 9 – Болезни конечностей /**
Fig. **Reasons for animal culling depending on Wright-Kislovsky inbreeding coefficient (Fx) and genomic inbreeding (inbreeding coefficient determined using ROH, F_{ROH}): 1 – Arthritis; 2 – Ketosis; 3 – Abscess; 4 – Bursitis; 5 – Mastitis; 6 – Infertility; 7 – Zoobrak; 8 – Difficult labor and complications; 9 – Extremity diseases**

Посредством математического группирования данных произведен расчет Хи-квадрата Пирсона. Согласно результатам, наблюдаемая и ожидаемая частоты согласованны, нулевая гипотеза не была отклонена, а, следовательно, не противоречит наблюдаемым данным. Расчетное значение χ^2 = 8,997 при χ^2 (критическом) = 21,026 и p-value = 0,703, что больше p = 0,05. Результат не противоречит гипотезе о равенстве частот и вовсе ее не доказывает, поскольку нулевую гипотезу невозможно доказать, а только отклонить.

В таблице 4 проведен сравнительный анализ распределений коэффициентов инбридинга, рассчитанных по геномным данным и данным родословного учета, который демонстрирует логичное возрастание средних показателей Fx, F_{ROH} и Ca по мере увеличения исследуемых коэффициентов по анализируемым группам, что подтверждает изученные нами ранее зависимости.

Таблица 4 – **Сравнительный анализ распределений коэффициента инбридинга по Райту-Кисловскому (Fx), уровня гомозиготности по STR-маркерам (Ca) и геномного инбридинга по SNP-маркерам (inbreeding coefficient determined using ROH, F_{ROH}), % /**
Table 4 – **Comparative analysis of distributions of the Wright-Kislovsky inbreeding coefficient (Fx), the level of homozygosity for STR markers (Ca), and genomic inbreeding for SNP markers (inbreeding coefficient determined using ROH, (F_{ROH}), %**

Группа / Group	*Fx*	*Ca*	*F_{ROH}*
Fx = 0–3,13 % (n = 258)	0,81	26,89	6,83
Fx = 3,22–5,86 % (n = 39)	3,87	27,92	9,68
Fx = 6,69–12,5 % (n = 10)	7,77	41,38	12,35
F_{ROH} = 0,55–5 % (n = 78)	0,62	23,66	3,46
F_{ROH} = 5,05–9,99 % (n = 165)	1,25	28,08	7,33
F_{ROH} = 10,01–17,71 % (n = 64)	2,85	30,64	12,26

Резюмируя вышесказанное, стоит отметить, что расчеты, проведенные различными методами: по родословным данным, с помощью микросателлитных профилей и SNP-чипов по средствам однонуклеотидных полиморфизмов, паттернов гомозиготности продемонстрировали закономерность увеличения процента выбытия животных в зависимости от уровня гомозиготности и геномного инбридинга. Использование полногеномных данных по SNP-чипам для этих целей показало свою актуальность наряду с STR-профилями, используемыми в основном для определения чистопородности [22, 23]. Подобные закономерности отмечались нами ранее в случае рассмотрения вопроса по признакам экстерьера, молочной продуктивности первотелок, собственной продуктивности быков-производителей [24, 25, 26].

Заключение. Исходя из вышеизложенного, следует, что геномный инбридинг и уровень гомозиготности оказали отрицательное влияние на частоту выбытия животных. Так, основными причинами выбраковки животных являлись: болезни конечностей, трудные роды и осложнения, гинекологические болезни, болезни обмена веществ, зообрак. Можно констатировать, что частота выбытия в группах инбредных животных увеличивалась на 0,011–4,840 % по сравнению с аутбредными и имеющими незначительный или допустимый коэффициент инбридинга при линейном разведении. При дальнейшей селекционной работе рекомендуем вести контроль уровня гомозиготности, опираясь на точный расчет с помощью ДНК-чипов высокой плотности для сохранения продуктивной жизнеспособности животных.

Список литературы

1. Diniso S. Y., Ishmael F. J. Culling and mortality of dairy cows: why it happens and how it can be mitigated. F1000Research. 2021;10:1014. DOI: https://doi.org/10.12688/f1000research.55519.2

2. Тихомиров И. А., Скоркин В. К., Аксенова В. П., Андрюхина О. Л. Продуктивное долголетие коров и анализ причин их выбытия. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016;(1(21)):64–72.

3. Heise J., Liu Z., Stock K. F., Rensing S., Reinhardt F., Simianer H. The genetic structure of longevity in dairy cows. Journal of Dairy Science. 2016;99(2):1253–1265. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2015-10163

4. Compton C. W. R., Heuer C., Thomsen P. T., Carpenter T. E., Phyn C. V. C., McDougall S. A systematic literature review and meta-analysis of mortality and culling in dairy cattle. Journal of Dairy Science. 2017;100(1):1–16. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2016-11302

5. Grzesiak W., Adamczyk K., Zaborski D., Wójcik J. Estimation of Dairy Cow Survival in the First Three Lactations for Different Culling Reasons Using the Kaplan–Meier Method. Animals. 2022;12:1942. DOI: https://doi.org/10.3390/ani12151942

6. Rilanto T., Reimus K., Orro T., Emanuelson U., Viltrop A., Mõtus K. Culling reasons and risk factors in Estonian dairy cows. BMC Veterinary Research. 2020;16:173 DOI: https://doi.org/10.1186/s12917-020-02384-6

7. Kulkarni P. S., Mourits M. C. M., Nielen M., Steeneveld W. Associations between dairy farm performance indicators and culling rates under policy-driven herd size constraints. Frontiers in Veterinary Science. 2023;10:1062891. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1062891

8. De Souza T. C., Pinto L. F. B., da Cruz V. A. R., de Oliveira H. R., Pedrosa V. B., Oliveira Jr G. A. et al. (2023). A comprehensive characterization of longevity and culling reasons in Canadian Holstein cattle based on various systematic factors. Translational Animal Science. 2023;7(1):txad102. DOI: https://doi.org/10.1093/tas/txad102

9. Горелик О. В., Лавров А. А., Лаврова Ю. Е., Белооков А. А. Причины выбытия коров в зависимости от происхождения. Аграрный вестник Урала. 2021;(1(204):36–45. DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-204-01-36-45 EDN: XVVSTF

10. Томских А. С., Барашкин М. И., Елесин А. В., Шурманова Е. И., Мильштейн И. М. Анализ основных причин выбытия коров в сельскохозяйственных организациях Свердловской области. Аграрный вестник Урала. 2016;(5(147)):37–42. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26168293 EDN: WAQQYB

11. Скворцова Е. Г., Неверова О. П., Чепуштанова О. В. Продуктивное долголетие коров черно-пестрой породы и причины их выбытия. Аграрный вестник Урала. 2019;(5(184)):54–61. DOI https://doi.org/10.32417/article_5d5157e4cce0c6.66672474 EDN: IGLVIU

12. Анистенок С. В., Тулинова О. В. Влияние инбридинга на удой и причины выбытия коров айрширской породы. Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2023;(11):127–136. DOI https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202311017 EDN: PWWYSV

13. Dallago G. M., Wade K. M., Cue R. I., McClure J. T., Lacroix R., Pellerin D., Vasseur E. Keeping dairy cows for longer: a critical literature review on dairy cow longevity in high milk-producing countries. Proceedings. 2021;73(1):7. DOI: https://doi.org/10.3390/IECA2020-08827

14. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research an update. Bioinformatics. 2012;28(19):2537–2539. DOI: https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460

15. Chang C. C., Chow C. C., Tellier L., Vattikuti S., Purcell S. M., Lee J. J. Second-generation PLINK: Rising to the challenge of larger and richer datasets. GigaScience. 2015;4:7. DOI: https://doi.org/10.1186/s13742-015-0047-8

16. Zhang L., Orloff M. S., Reber S., Li Sh., Zhao Y., Eng Ch. cgaTOH: Extended approach for identifying tracts of homozygosity. PLoS ONE. 2013;8(3): e57772. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057772

17. Purfield C., Berry D., McParland S., Bradley D. G. Runs of homozygosity and population history in cattle. BMC Genetics. 2012;13:70. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2156-13-70

18. Смарагдов М. Г., Кудинов А. А. Полногеномная оценка инбридинга у молочного скота. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(6):51–53. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10612 EDN: UQDHGE

19. Ерохин А. И., Солдатов А. П., Филатов А. И. Инбридинг и селекция животных. М.: Агропромиздат, 1985. С. 22–23.

20. Сидорова В. Ю., Попов Н. А. Особенности признаков телосложения, связанных с воспроизводством у дочерей инбредных и аутбредных быков. Молочное и мясное скотоводство. 2017;(2):15–17.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29240732 EDN: YPWTFJ

21. Попов Н. А., Сидорова В. Ю. Совершенствование селекционных признаков скота при использовании инбредных и гомозиготных быков-производителей. Главный зоотехник. 2022;(9(230)):3–16.
DOI: https://doi.org/10.33920/sel-03-2209-01 EDN: UTYHVG

22. Недашковский И. С., Контэ А. Ф., Сермягин А. А. Влияние уровня геномного инбридинга голштинских быков-производителей на изменчивость показателей экстерьера и тип телосложения их дочерей. Достижения науки и техники АПК. 2023;37(6):66–74. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_6_66 EDN: CLVLZC

23. Недашковский И. С., Сермягин А. А., Костюнина О. В. Влияние уровня геномного инбридинга, оцененного по ROH-паттернам, на воспроизводительные качества и молочную продуктивность дочерей, а также спермопродукцию голштинских быков-производителей. Достижения науки и техники АПК. 2021;35(3):39–45. DOI: https://doi.org10.24411/0235-2451-2021-10307 EDN: SGLPMR

24. Недашковский И. С., Контэ А. Ф., Нарышкина Е. Н., Сермягин А. А. Влияние уровня инбридинга коров голштинской породы на оценку их типа телосложения. Молочное и мясное скотоводство. 2023;(2):3–6. DOI: https://doi.org/10.33943/MMS.2023.36.93.002 EDN: RFOXTA

25. Недашковский И. С., Контэ А. Ф., Волкова В. В., Сермягин А. А. Влияние уровня гомозиготности по STR-маркерам быков-производителей голштинской породы на показатели наследования типа телосложения их дочерей на основе линейной оценки. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022;4(68):294–302.
DOI: https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-04-35 EDN: HMKKTG

26. Контэ А. Ф., Недашковский И. С., Ермилов А. Н., Сермягин А. А. Влияние уровня инбридинга быков-производителей на показатели типа телосложения их дочерей. Молочное и мясное скотоводство. 2022;(4):19–25. DOI: https://doi.org/10.33943/MMS.2022.26.83.003 EDN: NPAFUM

References

1. Diniso S. Y., Ishmael F. J. Culling and mortality of dairy cows: why it happens and how it can be mitigated. F1000Research. 2021;10:1014. DOI: https://doi.org/10.12688/f1000research.55519.2

2. Tikhomirov I. A., Skorkin V. K., Aksenova V. P., Andryukhina O. L. Cows productive life longevity and their reasons for culling's analysis. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatelskogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2016;(1(21)):64–72. (In Russ.).

3. Heise J., Liu Z., Stock K. F., Rensing S., Reinhardt F., Simianer H. The genetic structure of longevity in dairy cows. Journal of Dairy Science. 2016;99(2):1253–1265. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2015-10163

4. Compton C. W. R., Heuer C., Thomsen P. T., Carpenter T. E., Phyn C. V. C., McDougall S. A systematic literature review and meta-analysis of mortality and culling in dairy cattle. Journal of Dairy Science. 2017;100(1):1–16. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2016-11302

5. Grzesiak W., Adamczyk K., Zaborski D., Wójcik J. Estimation of Dairy Cow Survival in the First Three Lactations for Different Culling Reasons Using the Kaplan–Meier Method. Animals. 2022;12:1942.
DOI: https://doi.org/10.3390/ani12151942

6. Rilanto T., Reimus K., Orro T., Emanuelson U., Viltrop A., Mõtus K. Culling reasons and risk factors in Estonian dairy cows. BMC Veterinary Research. 2020;16:173 DOI: https://doi.org/10.1186/s12917-020-02384-6

7. Kulkarni P. S., Mourits M. C. M., Nielen M., Steeneveld W. Associations between dairy farm performance indicators and culling rates under policy-driven herd size constraints. Frontiers in Veterinary Science. 2023;10:1062891. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1062891

8. De Souza T. C., Pinto L. F. B., da Cruz V. A. R., de Oliveira H. R., Pedrosa V. B., Oliveira Jr G. A. et al. (2023). A comprehensive characterization of longevity and culling reasons in Canadian Holstein cattle based on various systematic factors. Translational Animal Science. 2023;7(1):txad102. DOI: https://doi.org/10.1093/tas/txad102

9. Gorelik O. V., Lavrov A. A., Lavrova Yu. E., Belookov A. A. Reasons for the disposal of cows, depending on the origin. *Agrarny vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2021;(1(204):36–45. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-204-01-36-45

10. Tomskikh A. S., Barashkin M. I., Elesin A. V., Shurmanova E. I., Milshteyn I. M. Analysis of causes of disposal cattle in farms of the Sverdlovsk region. *Agrarny vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2016;(5(147)):37–42. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26168293

11. Skvortsova E. G., Neverova O. P., Chepushtanova O. V. Productive longevity of cows of black-and-pestrous breeds and causes of their extraction. *Agrarny vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2019;(5(184)):54–61. (In Russ.). DOI https://doi.org/10.32417/article_5d5157e4cce0c6.66672474

12. Anistenok S. V., Tulinova O. V. Influence of inbreeding on milk yield and reasons for culling of ayrshire cows. *Veterinariya, zootekhniya i biotekhnologiya* = Veterinary Medicine, Zootechnics and Biotechnology. 2023;(11):127–136. (In Russ.). DOI https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202311017

13. Dallago G. M., Wade K. M., Cue R. I., McClure J. T., Lacroix R., Pellerin D., Vasseur E. Keeping dairy cows for longer: a critical literature review on dairy cow longevity in high milk-producing countries. Proceedings. 2021;73(1):7. DOI: https://doi.org/10.3390/IECA2020-08827

14. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research an update. Bioinformatics. 2012;28(19):2537–2539. DOI: https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460

15. Chang C. C., Chow C. C., Tellier L., Vattikuti S., Purcell S. M., Lee J. J. Second-generation PLINK: Rising to the challenge of larger and richer datasets. GigaScience. 2015;4:7. DOI: https://doi.org/10.1186/s13742-015-0047-8

16. Zhang L., Orloff M. S., Reber S., Li Sh., Zhao Y., Eng Ch. cgaTOH: Extended approach for identifying tracts of homozygosity. PLoS ONE. 2013;8(3): e57772. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057772

17. Purfield C., Berry D., McParland S., Bradley D. G. Runs of homozygosity and population history in cattle. BMC Genetics. 2012;13:70. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2156-13-70

18. Smaragdov M. G., Kudinov A. A. Full genome inbreeding assessment of dairy cattle. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2019;33(6):51–53. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10612

19. Erokhin A. I., Soldatov A. P., Filatov A. I. Inbreeding and animal breeding. Moscow: *Agropromizdat*, 1985. pp. 22–23.

20. Sidorova V. Yu., Popov N. A. The particularities of inbred and outbred bulls daughters" body traits associated with the reproduction. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2017;(2):15–17. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29240732

21. Popov N. A., Sidorova V. Yu. About some problems in the breedforming process and the popularization of scientific developments. *Glavny zootekhnik* = Head of Animal Breeding. 2022;(9(230)):3–16. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33920/sel-03-2209-01

22. Nedashkovsky I. S., Konte A. F., Sermyagin A. A. Influence of the level of genomic inbreeding holstein and black-and-white sires on genetic variability and evaluation of the estimated breeding value of the body type of their daughters. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2023;37(6):66–74. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_6_66

23. Nedashkovsky I. S., Sermyagin A. A., Kostyunina O. V. Influence of the level of genomic inbreeding assessed by ROH-patterns on reproductive qualities and milk productivity of daughters and sperm productivity of holstein sires. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2021;35(3):39–45. (In Russ.). DOI: https://doi.org10.24411/0235-2451-2021-10307

24. Nedashkovsky I. S., Konte A. F., Narishkina E. N., Sermyagin A. A. Influence of the level of inbreeding of daughters of holstein and black mottled sires on the assessment of their body type. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2023;(2):3–6. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33943/MMS.2023.36.93.002

25. Nedashkovsky I. S., Konte A. F., Volkova V. V., Sermyagin A. A. The influence of the level of homozygostity for str-markers of holsteen sires on the indicators of inheritance of the body type of their daughters on the basis of linear assessment. *Izvestiya Nizhne-volzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i visshee professionalnoe obrazovanie* = Proceedingsof Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education. 2022;4(68):294–302. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-04-35

26. Konte A. F., Nedashkovsky I. S., Ermilov A. N., Sermyagin A. A. The influence of bull's inbreeding level on indicators of their daughter's body type. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2022;(4):19–25. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33943/MMS.2022.26.83.003

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@fnclk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3977-8552**

Волкова Валерия Владимировна, кандидат биол. наук, ведущий 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 Bases 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, DSc in Biology, 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@fnclk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3977-8552**

Valeria V. Volkova, PhD in Biological Science, leading 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/10.30766/2072-9081.2026.27.1.178–189
УДК 636.2.034

(cc) BY

Оценка рисков проявления недостатков экстерьера вымени у коров айрширской породы с применением метода BLUP AM

© 2026. О. В. Тулинова[1], Е. А. Романова[1]✉, В. В. Березина[2], А. И. Токарев[1], А. А. Сермягин[1]

[1]*Всероссийский 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,*

[2]*АО «Кировплем», г. Киров, Российская Федерация*

Своевременная оценка экстерьера животных позволяет отбирать наиболее перспективные особи для разведения. Цель исследования – выявить недостатки экстерьера вымени коров айрширской породы молочного скота, оцененных методом BLUP AM. Материалами для исследования послужили данные индивидуальной экстерьерной оценки 3525 коров первого отела – дочерей 201 быка-производителя из 29 хозяйств различных областей РФ в период с 2006 по 2024 г. В целом по исследуемой выборке животных наибольшая вероятность проявления недостатков экстерьера (P) отмечена для признаков «дополнительные соски» (20,1 %), «косое дно вымени» (13,8 %), «асимметрия долей вымени» (3,9 %), «сближенность задних сосков» (3,6 %) и «малый объем вымени» (2,5 %). Проведенная процедура решения смешанных уравнений BLUP AM на исследуемой выборке животных показала узуальную достоверность (Rel) полученных линейных оценок с варьированием от 0,269 (расположение задних сосков) до 0,486 (глубина вымени) и у признаков недостатка экстерьера – от 0,172 (истечение молока) до 0,905 (атрофия долей вымени), что указывает на высокую генетическую обусловленность проявления признака в фенотипе. В процессе проведенной оценки животных установлено, что частота встречаемости атрофии долей вымени достоверно (p≤0,001) ниже в группах коров с положительными (≥0) оценками EBV по прикреплению передних долей вымени на 1,16 %, высоте прикрепления задних долей вымени – на 0,80 %, расположению задних сосков – на 1,12 %, а у первотелок с оптимальными оценками по глубине вымени этот недостаток не встречался. Таким образом, ряд недостатков экстерьера, таких как атрофия долей вымени, косое дно вымени и сближенность задних сосков можно нивелировать с помощью отбора коров с хорошо прикрепленным глубоким выменем и выраженной центральной связкой, которые по сравнению с животными, имеющими отклонения по данным параметрам экстерьера, имеют меньшую вероятность их проявления.

Ключевые слова: *линейная оценка, корреляция, дополнительные соски, атрофия долей вымени, косое дно вымени, сближенные соски*

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №25-26-00164, https://rscf.ru/project/25-26-00164/

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Тулинова О. В., Романова Е. А., Березина В. В., Токарев А. И., Сермягин А. А. Оценка рисков проявления недостатков экстерьера вымени у коров айрширской породы с применением метода BLUP AM. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):178–189. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.178-189

Поступила: 30.05.2025 Принята к публикации: 10.02.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Risk assessment of udder exterior defects in Ayrshire cows using the BLUP AM method

© 2026. Olga V. Tulinova[1], Elena A. Romanova[1]✉, Valentina V. Berezina[2], Alexander I. Tokarev[1], Alexander A. Sermyagin[1]

[1]*Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Saint-Petersburg, Russian Federation*

[2]*Kirov Join Stock Company for breeding work (“Kirovplem”), Kirov, Russian Federation*

Timely assessment of animal conformation allows for the selection of the most promising individuals for breeding. The aim of the study was to identify udder conformation deficiencies in Ayrshire dairy cows assessed using the BLUP AM method. The study was based on the data of individual exterior assessment of 3,525 first-calving cows, daughters of 201 sires from 29 farms in various regions of the Russian Federation in the period from 2006 to 2024. In general, for the studied sample of animals, the highest probability of deficiencies (P) was noted for traits “additional teats” P = 20.1 % and “unbalanced udder floor” P = 13.8 %, “asymmetry of udder lobes” P = 3.9 %, “close rear teats” P = 3.6 % and “small udder” P = 2.5 %. The procedure for solving mixed BLUP equations on the studied sample of animals by udder exterior features showed the usual reliability (Rel) of the obtained linear estimates, with a variation from Rel = 0.269 (rear teat placement) to Rel = 0.486 (udder

depth) and for exterior defects from Rel = 0.172 (milk leakage) to Rel = 0.905 (atrophy of udder lobes), which indicates its high genetic determinacy of manifestation in the phenotype. In the process of the conducted assessment of animals it was found that the frequency of occurrence of "atrophy of udder lobes" is significantly (p≤0.001) lower in groups of cows with positive (≥0) EBV assessments for the attachment of the fore udder attachment by 1.16 %, the rear udder height by 0.80 %, the rear teat placement by 1.12 %, and in first-calf heifers with optimal assessments for the udder depth, this defect was not observed. Thus, a number of exterior defects, such as "atrophy udder lobes", "unbalanced udder floor" and "close rear teats" can be leveled by selecting cows with a well-attached deep udder and a pronounced central ligament, which, compared to animals with deviations in these exterior parameters, have a lower probability of their manifestation.

Keywords: *linear assessment, correlation, additional teats, atrophy of udder lobes, unbalanced udder floor, close rear teats*

***Acknowledgments*:** the research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation No. 25-26-00164, https://rscf.ru/project/25-26-00164/

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

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

For citation: Tulinova O. V., Romanova E. A., Berezina V. V., Tokarev A. I., Sermyagin A. A. Risk assessment of udder exterior defects in Ayrshire cows using the BLUP AM method. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):178–189. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.178-189

Received: 30.05.2025 Accepted for publication: 10.02.2026 Published online: 27.02.2026

На современном этапе развития молочного скотоводства в селекционных программах по генетическому улучшению животных особое внимание уделяют не только продуктивным качествам, но и таким признакам, как воспроизводство, здоровье и продуктивное долголетие, которые тесно связаны с типом телосложения. Изучение развития внешних форм животных является важным критерием, так как их связь с функциональными и биологическими процессами в организме остается неразрывной [1, 2]. Поэтому в племенной работе, в том числе при разведении айрширского скота, необходима селекция не только по уровню продуктивности, но и по экстерьеру, в частности, строению вымени.

Селекционеры, стремясь к увеличению количества получаемого молока, изменили форму и размер вымени, и, как следствие, оптимизировалось кровоснабжение и структура его тканей. Эти изменения коснулись размеров цистерн вымени, длины и расположения сосков. Оценка вымени включает форму (чашеобразная, ваннообразная и т. д.), размеры, симметричность, расположение и форму сосков (длина, толщина, направление), прикрепление к брюшной стенке, прикрепление задних долей, выраженность центральной связки, наличие каких-либо дефектов (например, болезненных уплотнений или асимметрии) [3]. Все это влияет на легкость и эффективность машинного доения, а также на общий объем производимого молока [4], а правильное кормление обеспечивает достаточное количество питательных веществ для синтеза молока и поддержания здоровья вымени.

Особенности строения и развития вымени напрямую влияют на эффективность доения. Так, дефекты в анатомии и физиологии вымени приводят к замедленному и неполному выдаиванию молока. Поэтому для успешного отбора коров необходимо тщательно изучать форму и развитие вымени, а также понимать физиологические процессы, связанные с доением. Только комплексный анализ анатомических особенностей и физиологии позволяет объективно оценить продуктивность животного и выбрать наиболее перспективных особей для разведения [5, 6]. В сущности, форма вымени – это внешний показатель, отражающий внутренние процессы и эффективность молочной продуктивности коров. Селекцией по форме вымени с соблюдением технологии выращивания молодняка можно добиться легкой, быстрой и полной молокоотдачи, постепенного исключения ручного и машинного додаивания, более эффективного использования доильных установок и уменьшения затрат труда и времени на дойку. В исследованиях О. В. Горелика с соавт. [7], проведенных на коровах черно-пестрой породы, установлено, что животные с прикреплением передних долей вымени ниже, чем задних, с дополнительными сосками, сближенными и тонким диаметром (менее 5 мм) сосками, с козьей формой вымени непригодны для доения на роботизированной установке. Коровы с такими особенностями вымени уступают по надою молока на 5,9 кг в сутки, по скорости молокоотдачи – на 0,58 кг/мин и по удою за 305 дней – на 1237 кг.

Типовые признаки могут быть использованы в качестве косвенных предикторов долголетия и производства молока из-за их умеренной генетической корреляции и возможности ранней идентификации [8, 9]. Вместе с тем, сохранение здорового вымени позволяет увеличивать не только продолжительность

использования коров, но и повышать продуктивность животных и оплату корма продукцией, снижать себестоимость молока и улучшать его качество [10, 11].

Оценка экстерьера является научным обоснованием значительного повышения продуктивности имеющихся пород скота, а также для развития селекции и выведения новых пород и типов, без чего невозможно эффективное развитие отрасли животноводства [12]. Оценка позволяет выявлять физические отклонения или проблемы со здоровьем, контролировать общее состояние животного, включая признаки заболеваний, травм или дефицита питательных веществ [13, 14, 15].

Оптимизация молочного типа коров, улучшение качества конечностей и формы вымени, а также выявление и исключение из селекционного процесса животных с недостатками внешнего вида помогают избежать накопления нежелательных генетических комбинаций в стадах и их распространения среди породы. Это позволяет поддерживать высокие стандарты селекции и улучшать общие характеристики поголовья [16, 17].

В связи с отмеченной многими авторами важности оценки вымени коров разных пород при производстве молока и выявленными его недостатками, постоянный мониторинг изменения экстерьера данного органа в стадах молочного направления продуктивности является актуальным.

Цель исследования – выявить недостатки экстерьера вымени в группах изучаемой выборки коров айрширской породы молочного скота, оцененных методом BLUP AM (*Best Linear Unbiased Prediction Animal Model*) для повышения рентабельности молочного производства, снижения рисков для здоровья животных и долгосрочного улучшения генетического потенциала стада.

Научная новизна – изучение характеристик, детерминирующих функциональные и морфологические качества вымени коров айрширской породы, обуславливающих формирование особенностей типа телосложения высокопродуктивных животных.

Материал и методы. Исходным материалом для анализа послужили данные 3525 коров первого отела – дочерей 201 быка-производителя из 29 хозяйств различных регионов Российской Федерации (РФ): Ленинградская область (13 хоз., n = 1634), Кировская область (2 хоз., n = 1308), Вологодская область (2 хоз., n = 102), Новгородская область (2 хоз., n = 78), Республика Коми (3 хоз., n = 82), Республика Карелия (2 хоз., n = 121), Московская область (1 хоз., n = 56), Волгоградская область (1 хоз., n = 33), Тульская область (1 хоз., n = 58), Ярославская область (1 хоз., n = 22), Краснодарский край (1 хоз., n = 31). Индивидуальная экстерьерная оценка первотелок проведена в период с 2006 по 2024 г. сертифицированными бонитерами в соответствии с «Правилами линейной оценки телосложения дочерей быков-производителей молочно-мясных пород»[1] по следующим признакам, характеризующим строение вымени: DS (dairy strength) – молочные формы; FUA (fore udder attachment) – прикрепление передних долей вымени; FUL (fore udder length) – длина передних долей вымени; RUH (rear udder height) – высота прикрепления задних долей; RUW (rear udder width) – ширина задних долей; US (udder support) – борозда вымени; UD (udder depth) – положение дна вымени; FTP (front teat placement) – расположение передних сосков; TL (teat length) – длина сосков; RTP (rear teat placement) – расположение задних сосков.

В ходе балльной оценки учитывались следующие недостатки экстерьера вымени животных: AT (additiional teats) – дополнительные соски; TT (thin teats) – тонкие соски; UUF (unbalanced udder floor) – косое дно вымени; AfUL (atrophy udder lobes) – атрофия долей вымени; ML (milk leakage) – истечение молока; CRT (close rear teats) – сближенные задние соски; AsUL (asymmetry udder lobes) – асимметрия долей вымени; SU (small udder) – вымя малого объема; DU (divided udder) – вымя сильно разделено на четверти с боков.

Параметрический коэффициент корреляции Пирсона вычисляли по формуле:

$$r_{xy} = \frac{n\sum xy - \sum x - \sum y}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}, \quad (1)$$

где x – значение факторного признака;
y – значение результативного признака;
n – число пар данных.

[1]Правила оценки телосложения дочерей быков-производителей молочно-мясных пород. 1996. [Электронный ресурс]. URL: https://gov.cap.ru/home/65/aris/bd/Sbornik/SB1/160-185.html?ysclid=ml6mq45jl0122940051 (дата обращения: 02.02.2026).

Коэффициент наследуемости вычисляли с применением дисперсионного анализа в модуле RENUMF90 по уравнению:

$$h^2 = \frac{VarA}{VarA+VarPE+VarE}, \quad (2)$$

где *VarA* – аддитивная генетическая варианса; *VarPE* – варианса постоянно действующих факторов среды; *VarE* – остаточная варианса ошибки.

Вероятность проявления недостатков у исследуемых дочерей быков рассчитана с применением формулы вероятности события:

$$A = m/n, \quad (3)$$

где *m* – количество элементарных исходов, благоприятствующих событию *A; n* – общее число всех равновозможных, элементарных исходов этого испытания.

Оценку линейных признаков экстерьера коров проводили с помощью модели BLUP AM посредством программного обеспечения семейства BLUPF90 с использованием среды разработки RStudio в качестве командной строки:

$$Y_{ijk} = \mu + HYS_i + bLD_k + Animal_k + e_{ijk}, \quad (4)$$

где Y_{ijk} – результирующий показатель (признаки линейной оценки экстерьера) k-й первотелки, дочери j-го быка, лактировавшей в i-ой градации «стадо-год-сезон»; μ – популяционная константа; HYS_i – фиксированный фактор i-й градации «стадо-год-сезон»; b – коэффициент линейной регрессии результирующего фактора на количество дней лактации; LD_k – количество дней лактации на момент оценки; $Animal_k$ – рандомизированный эффект животного; e_{ijk} – остаточный эффект модели.

Точность прогноза или надежность оценки животного (*reliability*, Rel) рассчитывали по формуле:

$$Rel = 1 - \frac{PEV_i}{\sigma_a^2}, \quad (5)$$

где PEV (*Prediction Error Variance*) – прогнозируемая ошибка дисперсии или доля аддитивной генетической варианса, не учитываемая прогнозом; σ_a^2 – аддитивная генетическая варианса.

В процессе исследования проведено формирование групп с положительными и отрицательными оценками EBV (*Estimated Breeding Value*) по линейным признакам экстерьера (≥0 и <0), а также отсутствием и наличием недостатков (+ и -).

Оценка достоверности разницы средних значений проведена в программе SigmaPlot 15.0 при t-критерии достоверности p≤0,05.

Результаты и их обсуждение. Анализ линейной оценки показателей, характеризующих строение вымени коров первого отела, выявил различия по областям РФ. Животные Волгоградской области отличались высокими оценками по признакам «прикрепление задних долей вымени» (6,8±0,3 балла) и «выраженность молочных форм» (6,6±0,23 балла), имели наибольший коэффициент изменчивости (C_v) в сравнении с животными из других областей – «длина передних долей вымени» (C_v=22,7 %) и «ширина задних долей вымени» (C_v= 28,4 %) (рис. 1). Достаточное расстояние между верхними точками прикрепления железистой ткани задних долей вымени к внутренней стороне бёдер животного отмечено в Краснодарском крае и Вологодской области (6,9±0,19 и 6,6±0,12 балла соответственно). Коровы первого отела Кировской области отличались наибольшей глубиной вымени (7,7±0,04 балла), то есть положением дна вымени, но наименее выраженной центральной связкой (4,4±0,04 балла) и укороченными сосками (4,0±0,03 балла), при этом животные данного региона имели наибольший коэффициент изменчивости по длине (C_v = 26,3 %) и расположению передних сосков (C_v = 20,0 %). Расположение задних сосков в наибольшей степени варьировало у коров Вологодской области (C_v = 22,81 %), которые обладали длинными передними (6,2±0,08 балла) и широкими задними долями вымени (6,6±0,12 балла).

Гармоничные животные с вытянутым туловищем, открытым и плоским ребром, умеренно развитой мускулатурой выявлены в Московской и Тульской областях, которые по показателю «молочные формы» в среднем оценены 6,6±0,15 и 6,9±0,11 балла соответственно. Также в Тульской области зафиксированы высокие оценки признаков «прикрепление передних долей вымени» и «длина передних долей вымени» – 6,9±0,16 и 6,2±0,09 балла. Средние баллы за качество вымени отмечены в Республике Карелия, однако животные имели оценки ниже среднего за прикрепление передних (4,5±0,13 балла) и задних долей вымени (4,9±0,10 балла). В Ленинградской области животные отличались желательным расположением задних (5,3±0,02 балла) и передних (4,8±0,02 балла) сосков и имели высокий коэффициент изменчивости по таким параметрам, как «глубина вымени» (23,70 %) и «борозда вымени» (33,54 %), что указывает на возможность вести успешный селекционный отбор по данным признакам.

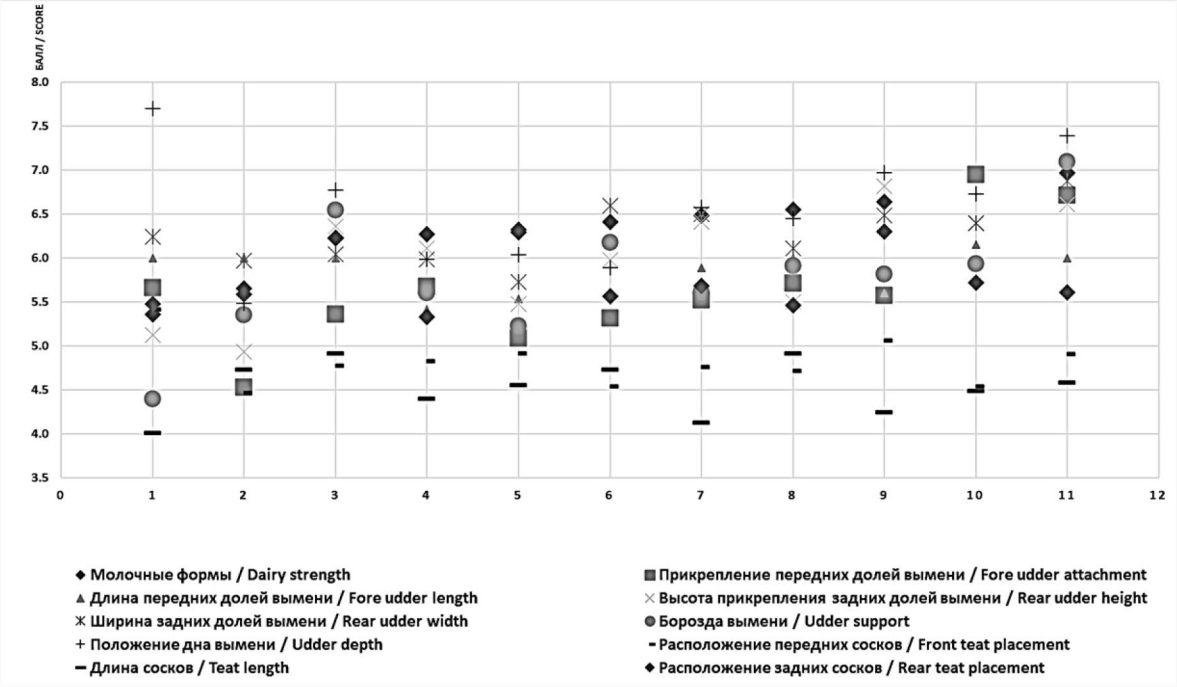


Рис. 1. **Линейная оценка статей вымени айрширских коров в разрезе областей Российской Федерации (n = 3525):** 1 – Кировская область; 2 – Республика Карелия; 3 – Ярославская область; 4 – Ленинградская область; 5 – Новгородская область; 6 – Вологодская область; 7 – Республика Коми; 8 – Московская область; 9 – Волгоградская область; 10 – Тульская область; 11 – Краснодарский край /

Fig. 1. **Linear assessment of udder traits of Ayrshire cows by regions of the Russian Federation (n = 3525):** 1 – Kirov oblast; 2 – Republic of Karelia; 3 – Yaroslavl oblast; 4 – Leningrad oblast; 5 – Novgorod oblast; 6 – Vologda oblast; 7 – Komi Republic; 8 – Moscow oblast; 9 – Volgograd oblast; 10 – Tula oblast; 11 – Krasnodar Krai

В ходе балльной оценки проведен учет недостатков экстерьера. В целом по исследуемой выборке животных наибольшая вероятность проявления недостатков (Р) отмечена по признакам «дополнительные соски» (20,1 %) и «косое дно вымени» (13,8 %). Такие недостатки, как асимметрия долей вымени, сближенность задних сосков и малый объем вымени имели низкую степень риска – Р = 3,9 %, 3,6 и 2,5 % соответственно. Остальные недостатки находились на уровне проявления менее 1 %: от Р = 0,8 % – для атрофии долей вымени до Р = 0,1 % – для тонких сосков.

Вариативность относительной частоты встречаемости недостатков вымени отмечена в разрезе регионов РФ (рис. 2). В Кировской области среди зарегистрированных недостатков у коров преобладали: косое дно вымени – 21,2 %; дополнительные соски – 11,7 %; асимметрия долей вымени – 8,3 %; сближенные задние соски – 2,8 %; вымя малого объема – 1,5 %; перехват вымени – 1,0 %. В остальных регионах лидирующее положение по частоте встречаемости недостатков вымени занимают дополнительные соски: от 40,9 % в Ярославской области до 15,7 % в Республике Карелия. После рудиментарных сосков второе место по распространенности занимает дефект косое дно вымени в следующих регионах: Краснодарский край 16,1 %; Тульская область 15,5 %; Республика Коми 14,6 %; Республика Карелия 6,6 %; Ленинградская область 5,8 %. В ряде регионов на втором месте отмечена сближенность задних сосков: в Ярославской области 18,2 %; в Новгородской – 12,8 %, в Московской – 10,7 %, в Вологодской области - 9,8 %. В Волгоградской области второе место по процентному проявлению разделили косое дно вымени и сближенность сосков и составили 12,1 %.

Проведен корреляционный анализ генетических (r_g), фенотипических (r_p) связей линейных признаков и выявленных недостатков вымени исследуемых коров (рис. 3). Установлены высокие достоверные положительные корреляции между признаками «прикрепление вымени сзади» и «ширина задних долей» (r_g = +0,757 и r_p = +0,400, p≤0,001), «переднее прикрепление вымени» и «глубина вымени» (r_g=+0,598 и r_p = +0,300, p≤0,001), «переднее и заднее прикрепление вымени» (r_g = +0,545 и r_p = +0,350, p≤0,001), что указывает на общность формирования данных признаков, основой которых является соединительно тканная строма, составляющая остов вымени. Отрицательные генетические корреляционные связи отмечены между глубиной вымени и рядом

недостатков, таких как: косое дно вымени (r_g = -0,222, p≤0,001), атрофия долей вымени (r_g= -0,278, p≤0,001), истечение молока (r_g=-0,426, p≤0,001), сближенные задние соски (r_g= -0,323, p≤0,001) и асимметрия долей вымени (r_g=-0,282, p≤0,001). Отрицательные корреляции с недостатками вымени наблюдались у признаков: центральная связка от r_g = -0,068 (p≤0,001) с дополнительными сосками до r_g = -0,230 (p≤0,001) с истечением молока; прикрепление передних долей вымени от r_g = -0,061 (p≤0,001) с тонкими сосками до r_g = -0,315 (p≤0,001) со сближенными задними сосками.

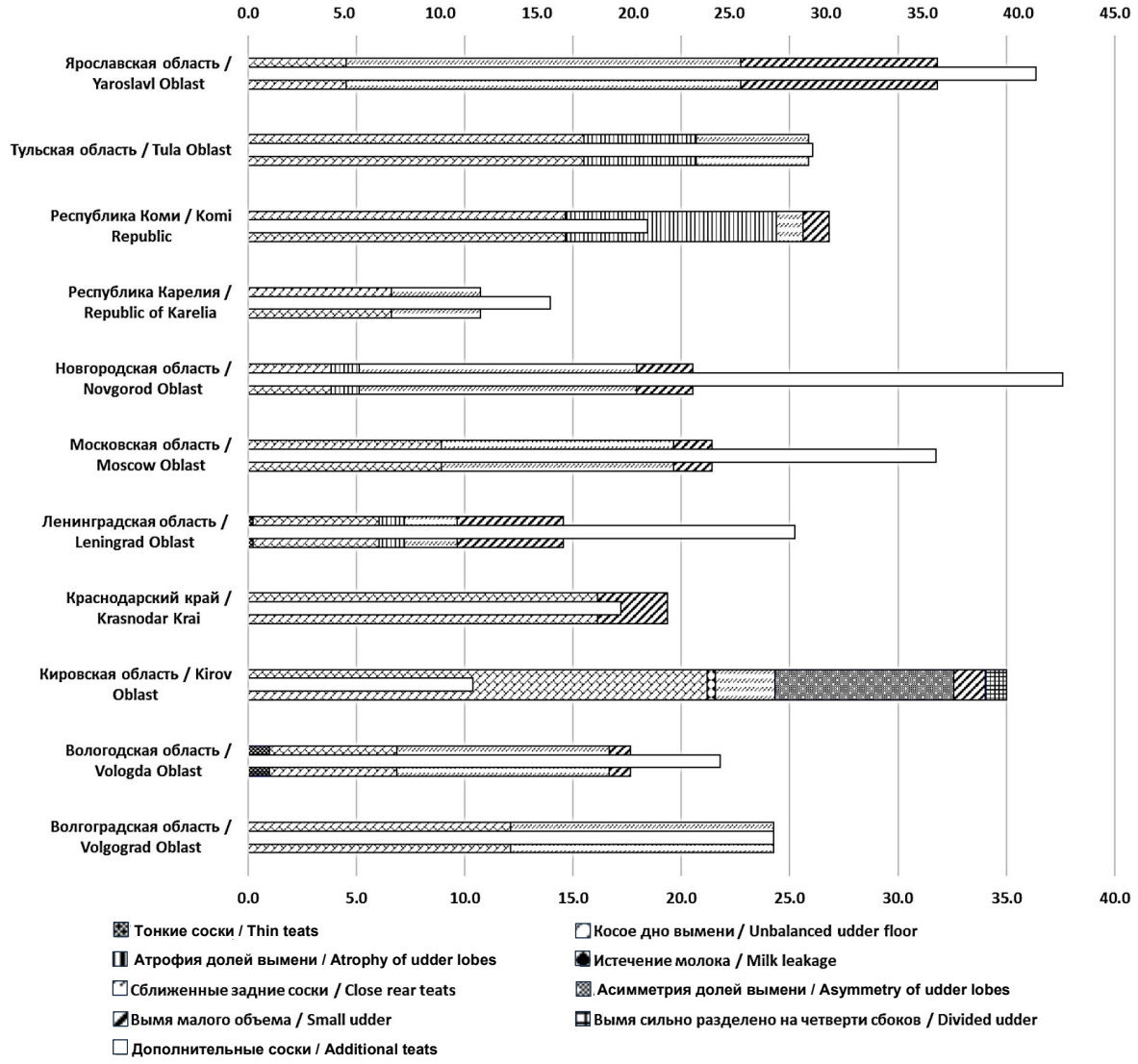


Рис.2. **Частота встречаемости недостатков вымени в разрезе регионов Российской Федерации, % /**
Fig. 2. **Frequency of occurrence of udder defects by regions of the Russian Federation, %**

С целью нивелирования смещенных (искаженных) оценок генетических качеств животных проведено решение уравнений смешанных моделей BLUP AM на исследуемой выборке животных по признакам экстерьера вымени. Достоверность полученных линейных оценок варьировала от Rel = 0,269 для признака «расположение задних сосков» до Rel = 0,486 – «глубина вымени» (табл.). Среди недостатков экстерьера высокой степенью достоверности отличился признак «атрофия долей вымени» (Rel = 0,905, или 91 %), что указывает на его высокую генетическую обусловленность проявления в фенотипе. Остальные учитываемые недостатки имели степень достоверности от Rel = 0,172 для признака «истечение молока» до Rel = 0,529 – «малый объем молочной железы». При этом степень генетической детерминации недостатков экстерьера вымени коров первого отела варьировала от h^2 = 0,01 для признака «истечение молока» до h^2 = 0,43 – «атрофия долей вымени». Довольно высокими

для экстерьерных статей оказались коэффициенты наследуемости по глубине вымени (h^2 = 0,34), длине сосков (h^2 = 0,30), длине передних долей вымени (h^2 = 0,29), ширине задних долей вымени (h^2 = 0,26). Выявленные корреляции и коэффициенты детерминации представляют особый интерес для селекционной работы, направленной на устранение недостатков вымени и повышение его морфофункциональных качеств.

	DS	FUA	FUL	RUH	RUW	US	UD	FTP	TL	RTP	AT	TT	UUF	AfUL	ML	CRT	AsUL	SU	DU
DS		0.20	0.07	0.41	0.36	0.43	-0.04	-0.08	0.17	0.01	0.08	0.04	-0.12	0.04	-0.03	-0.02	-0.11	0.01	-0.03
FUA	-0.11		0.22	0.35	0.23	0.12	0.30	0.08	0.01	0.00	0.05	0.02	-0.09	0.04	-0.06	-0.05	-0.01	0.14	-0.04
FUL	0.04	-0.02		0.01	0.33	0.17	0.40	0.09	0.12	0.17	0.15	0.02	0.11	0.05	0.01	0.05	0.07	0.02	0.02
RUH	0.27	0.55	0.48		0.40	0.32	0.06	-0.06	0.04	0.00	0.02	0.03	-0.19	0.00	-0.09	-0.05	-0.12	0.05	-0.03
RUW	0.48	0.05	0.54	0.76		0.36	0.12	-0.05	0.10	0.15	0.01	0.04	-0.03	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02	-0.05	0.01
US	0.36	-0.20	-0.02	0.19	0.41		0.09	-0.12	0.23	0.10	0.10	0.05	-0.10	0.04	-0.08	0.00	-0.14	0.05	-0.01
UD	0.04	0.60	-0.04	0.45	-0.09	0.04		0.29	0.01	0.08	0.09	0.01	0.14	-0.01	-0.01	-0.01	0.07	0.20	0.02
FTP	0.34	0.30	-0.09	0.29	0.06	-0.29	0.41		-0.14	0.04	-0.01	0.00	0.07	-0.02	-0.08	0.06	0.07	0.06	0.01
TL	-0.01	-0.09	0.45	0.15	0.25	0.23	-0.01	-0.20		0.05	0.09	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	-0.01	-0.01
RTP	-0.21	0.24	-0.06	0.35	0.10	0.01	0.29	0.33	-0.02		0.03	0.00	-0.06	-0.03	-0.03	0.37	0.00	0.01	0.03
AT	-0.04	0.53	0.01	0.36	0.10	-0.07	0.09	0.08	0.12	0.18		0.01	0.01	0.04	-0.02	-0.01	-0.03	0.07	-0.03
TT	0.34	-0.06	-0.03	0.32	0.42	0.39	0.16	0.08	0.09	-0.03	-0.01		-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00
UUF	-0.43	-0.24	0.03	-0.33	-0.24	-0.15	-0.22	-0.57	0.11	-0.23	-0.15	0.00		-0.02	0.04	0.01	0.08	0.01	0.05
AfUL	0.33	-0.23	0.05	-0.06	0.06	0.01	-0.28	-0.03	-0.02	-0.12	0.17	0.19	0.15		0.00	-0.01	-0.01	0.01	0.00
ML	0.00	-0.25	0.04	-0.25	0.03	-0.23	-0.43	-0.12	0.06	-0.48	-0.27	0.03	0.35	0.10		-0.01	-0.01	-0.01	0.12
CRT	0.08	-0.32	0.05	-0.10	-0.04	-0.17	-0.32	0.22	0.06	0.26	0.27	-0.05	-0.05	0.59	-0.09		-0.02	-0.01	-0.01
AsUL	-0.35	0.06	-0.01	0.04	-0.01	-0.21	-0.28	-0.26	-0.41	-0.01	0.09	-0.03	0.09	0.01	0.18	0.02		-0.01	-0.01
SU	0.02	0.48	-0.04	0.08	-0.24	-0.20	0.32	0.14	0.03	-0.01	0.24	-0.09	-0.01	0.51	-0.08	0.11	-0.12		-0.01
DU	0.05	0.36	0.08	0.47	0.10	0.09	0.64	0.32	-0.03	0.41	0.14	0.05	-0.37	-0.11	-0.37	0.01	-0.04	0.21	

Рис. 3. **Корреляционная матрица линейной оценки экстерьера и недостатков вымени коров айрширской породы (r_p – фенотипические корреляции выше диагонали; r_g – генетические корреляции ниже диагонали) (n = 3525):** DS – молочные формы, FUA – прикрепление передних долей вымени, FUL – длина передних долей вымени, RUH – высота прикрепления задних долей, RUW – ширина задних долей, US – борозда вымени, UD – положение дна вымени, FTP – расположение передних сосков, TL – длина сосков, RTP – расположение задних сосков; AT – дополнительные соски, TT – тонкие соски, UUF – косое дно вымени, AfUL – атрофия долей вымени, ML – истечение молока, CRT – сближенные задние соски, AsUL – асимметрия долей вымени, SU – вымя малого объема, DU – вымя сильно разделено на четверти с боков /

Fig. 3. **Correlation matrix of the linear assessment of the exterior and udder defects of Ayrshire cows (r_p – phenotypic correlations above the diagonal; r_g – genetic correlations below the diagonal) (n = 3525)**: DS – dairy strength, FUA – fore udder attachment, FUL – fore udder length, RUH – rear udder height, RUW – rear udder width, US – udder support, UD – udder depth, FTP – front teat placement, TL – teat length, RTP – rear teat placement; AT – additional teats, TT – thin teats, UUF – unbalanced udder floor, AfUL – atrophy udder lobes, ML – milk leakage, CRT – close rear teats, AsUL – asymmetry udder lobes, SU – small udder, DU – divided udder

На основании проведенной процедуры BLUP AM сформированы контрастные группы с положительными (≥0) и отрицательными (<0) оценками EBV по линейным признакам. Установлено, что частота встречаемости атрофии долей вымени достоверно (p≤0,001) ниже в группах: FUA≥0 – на 1,16 %, RUH≥0 – на 0,80 %, RTP≥0 – на 1,12 %, у первотелок с UD≥0 этот недостаток не встречался. Частота встречаемости рудиментарных сосков имела меньшее значение в группе US≥0 – на 2,47 %, а в остальных группах с положительными

оценками экстерьера вымени, напротив, увеличивалась от 2,9 % (FUL<0) до 17,21 % (UD<0). При анализе влияния оценок вымени на проявление недостатка «косое дно вымени» выявлено практически полное преимущество положительно оцененных животных по линейной системе. Частота встречаемости данного недостатка варьировала от 2,13 % в группе FUA≥0 до 8,23 % – FTP≥0. У животных с оценками UD≥0 и US≥0 риск возникновения недостатка «сближенность задних сосков» снижался на 1,96 и 1,66 % соответственно.

Таблица – **Достоверность (Rel) и наследуемость (h^2) племенной ценности EBV (Estimated Breeding Value) линейных оценок и недостатков экстерьера методом BLUP AM /**
Table **– Reliability (Rel) and heritability (h^2) of EBV (Estimated Breeding Value) of linear assessments and exterior defects using the BLUP AM method**

	Признак / Trait	*Rel*	h^2
Линейные признаки / Linear traits	DS	0,384	0,13
	FUA	0,462	0,22
	FUL	0,456	0,29
	RUH	0,432	0,18
	RUW	0,436	0,26
	US	0,350	0,19
	UD	0,486	0,34
	FTP	0,387	0,23
	TL	0,429	0,30
	RTP	0,269	0,12
Недостатки экстерьера вымени / Udder exterior defects	AT	0,301	0,12
	TT	0,470	0,32
	UUF	0,243	0,06
	AfUL	0,905	0,43
	ML	0,172	0,01
	CRT	0,424	0,03
	AsUL	0,196	0,02
	SU	0,529	0,25
	DU	0,251	0,02

Примечания: DS – молочные формы; FUA – прикрепление передних долей вымени; FUL – длина передних долей вымени; RUH – высота прикрепления задних долей; RUW – ширина задних долей; US – борозда вымени; UD – положение дна вымени; FTP – расположение передних сосков; TL – длина сосков; RTP – расположение задних сосков; AT – дополнительные соски; TT – тонкие соски; UUF – косое дно вымени; AfUL – атрофия долей вымени; ML – истечение молока; CRT – сближенные задние соски; AsUL – асимметрия долей вымени; SU – вымя малого объема; DU – вымя сильно разделено на четверти с боков /

Notes: DS – dairy strength; FUA – fore udder attachment; FUL – fore udder length; RUH – rear udder height; RUW – rear udder width; US – udder support; UD – udder depth; FTP – front teat placement; TL – teat length; RTP – rear teat placement; AT – additional teats; TT – thin teats; UUF – unbalanced udder floor; AfUL – atrophy udder lobes; ML – milk leakage; CRT – close rear teats; AsUL – asymmetry udder lobes; SU – small udder, DU – divided udder.

В подтверждение полученных данных в процессе исследования проведена дифференциация коров на группы с наличием исследуемых недостатков и их отсутствием (рис. 4). Выявлены достоверные отличия оценок EBV по следующим линейным признакам: для переднего прикрепления вымени разница составила 1,08 ($p\leq0,001$); для глубины вымени 1,64 ($p\leq0,001$); расположения задних сосков 0,27 ($p\leq0,001$). Соответственно в группе животных, не имеющих атрофии долей вымени показатели оценки были выше. Высокодостоверные отличия отмечены между группами коров по недостатку «косое дно вымени». В группе с отсутствием данного недостатка оценки EBV оказались выше у признаков: FUA – 2,13; RUH – 4,09; RUW – 4,18; US – 2,50; UD – 3,784; FTP – 8,23; RTP – 3,24 при $p\leq0,001$. Сопоставимая ситуация в группах с признаком «сближенность задних сосков», в которых

отмечено преимущество племенной ценности EBV в практически тех же оценочных группах, что и с признаком «косое дно вымени».

Следовательно, такие недостатки, как атрофия долей вымени, косое дно вымени и сближенность задних сосков можно нивелировать с помощью отбора коров с хорошо прикрепленным глубоким выменем и выраженной центральной связкой, которые по сравнению с животными, имеющими отклонения по данным параметрам экстерьера, обладают меньшей вероятностью их проявления. Поскольку рудиментарные соски в бóльшей степени имели проявление в группах животных с положительными экстерьерными оценками, их исключение рекомендовано осуществлять хирургическим путем через ампутацию в раннем возрасте с целью профилактики развития маститов и повышения пригодности к машинному доению.

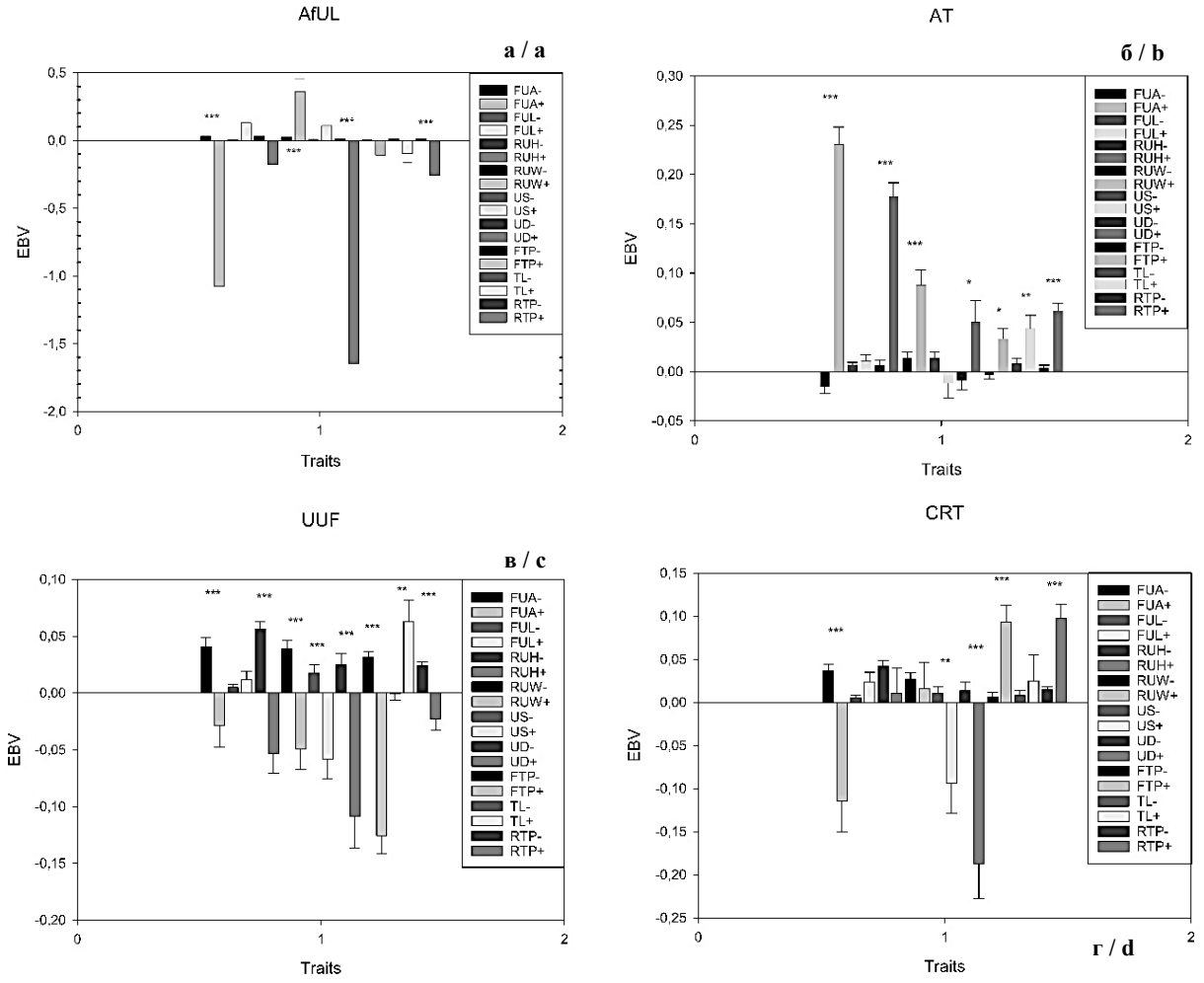


Рис. 4. **Дифференциация оценок племенной ценности EBV (*Estimated Breeding Value*) линейных признаков экстерьера при наличии и отсутствии недостатков: а) атрофия долей вымени; б) дополнительные соски; в) косое дно вымени; г) сближенные задние соски:** FUA – прикрепление передних долей вымени; FUL – длина передних долей вымени; RUH – высота прикрепления задних долей; RUW – ширина задних долей; US – борозда вымени; UD – положение дна вымени; FTP – расположение передних сосков; TL – длина сосков; RTP – расположение задних сосков. Достоверность разницы при *** $p \leq 0{,}001$; ** $p \leq 0{,}01$; * $p \leq 0{,}05$ /

Fig. 4. **Differentiation of EBV assessments of linear exterior traits in the presence and absence of defects: a) atrophy of udder lobes; b) additional teats; c) unbalanced udder floor; d) close rear teats:** FUA – fore udder attachment; FUL – fore udder length; RUH – rear udder height; RUW – rear udder width; US – udder support; UD – udder depth; FTP – front teat placement; TL – teat length; RTP – rear teat placement. Reliability of the difference *** $p \leq 0.001$; ** $p \leq 0.01$; * $p \leq 0.05$

Заключение. Проведённый анализ демонстрирует выраженную зависимость частоты проявления ряда дефектов от линейных оценок вымени. Частота встречаемости атрофии долей вымени была достоверно ($p \leq 0{,}001$) ниже в группах с положительными оценками по

показателям: «прикрепление передних долей вымени» – на 1,16 %, «высота прикрепления задних долей вымени» – на 0,80 %, «расположение задних сосков» – на 1,12 %, у первотелок с положительными оценками по глубине вымени этот недостаток не встречался. Признак «косое дно вымени» варьировал в диапазоне от 2,13 % в группе животных с положительными оценками показателя «прикрепление передних долей вымени» до 8,23 % – в группе с положительными оценками по расположению передних сосков. У особей с положительными оценками по показателям: глубина вымени и центральная связка наблюдали снижение риска развития сближенности задних сосков на 1,96 и 1,66 % соответственно. Поэтому, помимо корректировки технологий выращивания телок, процесс накопления нежелательных генетических комбинаций в стаде, проявляющихся в форме выявленных недостатков экстерьера, можно замедлить выбраковкой животных с неудовлетворительным экстерьером вымени, что может способствовать сохранению здоровья стада и совершенствованию породы.

Список литературы

1. Zhang X. X., An Z. G., Niu K. F., Chen C., Ye T. Z., Shaukat A., Yang L. G. Evaluation of type traits in relation to production, and their importance in early selection for milk performance in dairy buffaloes. Animal. 2022;16(11):100653. DOI: https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100653

2. Singh R. S., Bansal B. K., Gupta D. K. Relationship between teat morphological traits and subclinical mastitis in Frieswal dairy cows. Tropical Animal Health and Production. 2017;49(8):1623–1629. DOI: https://doi.org/10.1007/s11250-017-1368-7

3. Дегтярь А. С., Скрипина О. Ю. Морфофункциональные свойства вымени коров разных генотипов. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2022;(1(43)):98–104. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48225325 EDN: NJDHHV

4. Хисамов Р. Р., Загидуллин Л. Р., Файзуллина Т. А. Оценка и отбор коров по качеству вымени при роботизированном доении. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024;(1(231)):64–69. DOI: https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-231-1-64-69 EDN: EINLHU

5. Saleh A. A., Easa A. A., El-Hedainy D. K., Rashad A. M. A. Prediction of some milk production traits using udder and teat measurements with a spotlight on their genetic background in Friesian cows. Scientific Reports. 2023;13(1):16193. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-023-43398-y

6. Zhang X., Niu K., Wang W., Shaukat A., Zhao X., Yao Z., Liang A., Yang L. Relationships between body- and udder-related type traits with somatic cell counts and potential use for an early selection method for water buffaloes (Bubalus bubalis). Journal of Animal Science. 2023;101:skad238. DOI: https://doi.org/10.1093/jas/skad238

7. Горелик О. В., Санова З. С., Федосеева Н. А., Камалов Р. А., Сойнова О. Л. Влияние суммарной оценки экстерьерных особенностей вымени коров на их продуктивность. Аграрный вестник Урала. 2019;(1(180)):10–15. DOI: https://doi.org/10.32417/article_5ca4dc03b2e452.55895172 EDN: NSUJYA

8. Vvan der Heide E. M. M., Veerkamp R. F., van Pelt M. L., Kamphuis C., Ducro B. J. Predicting survival in dairy cattle by combining genomic breeding values and phenotypic information. Journal of Dairy Science. 2020;103(1):556–571. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2019-16626

9. Zavadilová L., Němcová E., Stípková M. Effect of type traits on functional longevity of Czech Holstein cows estimated from a Cox proportional hazards model. Journal of Dairy Science. 2011;94(8):4090–4099. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2010-3684

10. Гаджиев А. М., Усачев В. В. Повышение продуктивности и качества молока при машинном доении коров. Зоотехния. 2019;(11):24–26. DOI: https://doi.org/10.25708/ZT.2019.84.11.007 EDN: QHWQDL

11. Романова Е. А., Тулинова О. В., Позовникова М. В., Васильева Е. Н., Петрова А. В., Лейбова В. Б. Связь экстерьерных признаков с компонентным составом молока у айрширских коров. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023;(2):71–77. DOI: https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/2/71-77 EDN: QMZJNH

12. Романова Е. А., Тулинова О. В. Селекционно-генетические показатели линейной оценки экстерьера коров черно-пестрой породы. Молочное и мясное скотоводство. 2025;(1):29–31. DOI: https://doi.org/10.33943/MMS.2025.70.54.005 EDN: PHUIRM

13. Bhutto A. L., Murray R. D., Woldehiwet Z. Udder shape and teat-end lesions as potential risk factors for high somatic cell counts and intra-mammary infections in dairy cows. The Veterinary Journal. 2010;183(1):63–67. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2008.08.024

14. Sharma A., Sharma S., Singh N., Sharma V., Pal R. S. Impact of udder and teat morphometry on udder health in Tharparkar cows under climatic condition of hot arid region of Thar Desert. Tropical Animal Health and Production. 2016;48(8):1647–1652. DOI: https://doi.org/10.1007/s11250-016-1138-y

15. Singh R. S., Bansal B. K., Gupta D. K. Udder health in relation to udder and teat morphometry in Holstein Friesian × Sahiwal crossbred dairy cows. Tropical Animal Health and Production. 2014;46(1):93–98. DOI: https://doi.org/10.1007/s11250-013-0454-8

16. Контэ А. Ф., Ермилов А. Н., Янчуков И. Н., Сермягин А. А. Параметры генетической взаимосвязи недостатков экстерьера с оценкой типа телосложения голштинизированных коров черно-пестрой породы. Генетика и разведение животных. 2018;(3):32–38. DOI: https://doi.org/10.31043/2410-2733-2018-3-32-38 EDN: VOMVXI

17. Шишкина Т. В., Никишова Н. В. Морфофункциональные свойства и основные недостатки вымени коров черно-пестрой породы. Главный зоотехник. 2022;(5(226)):32–42. DOI: https://doi.org/10.33920/sel-03-2205-04 EDN: RFZTXC

References

1. Zhang X. X., An Z. G., Niu K. F., Chen C., Ye T. Z., Shaukat A., Yang L. G. Evaluation of type traits in relation to production, and their importance in early selection for milk performance in dairy buffaloes. Animal. 2022;16(11):100653. DOI: https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100653

2. Singh R. S., Bansal B. K., Gupta D. K. Relationship between teat morphological traits and subclinical mastitis in Frieswal dairy cows. Tropical Animal Health and Production. 2017;49(8):1623–1629. DOI: https://doi.org/10.1007/s11250-017-1368-7

3. Degtyar A. S., Skripina O. Yu. Morphofunctional properties of the udder of cows of different genotypes. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Don State Agrarian University. 2022;(1(43)):98–104. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48225325

4. Khisamov R. R., Zagidullin L. R., Fayzullina T. A. Cow evaluation and selection by udder quality during robotic milking. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2024;(1(231)):64–69. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-231-1-64-69

5. Saleh A. A., Easa A. A., El-Hedainy D. K., Rashad A. M. A. Prediction of some milk production traits using udder and teat measurements with a spotlight on their genetic background in Friesian cows. Scientific Reports. 2023;13(1):16193. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-023-43398-y

6. Zhang X., Niu K., Wang W., Shaukat A., Zhao X., Yao Z., Liang A., Yang L. Relationships between body- and udder-related type traits with somatic cell counts and potential use for an early selection method for water buffaloes (Bubalus bubalis). Journal of Animal Science. 2023;101:skad238. DOI: https://doi.org/10.1093/jas/skad238

7. Gorelik O. V., Sanova Z. S., Fedoseeva N. A., Kamalov R. A., Soynova O. L. Effect of total assessment of exterior peculiarities of cows mutter on their productivity. *Agrarny vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2019;(1(180)):10–15. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32417/article_5ca4dc03b2e452.55895172

8. Van der Heide E. M. M., Veerkamp R. F., van Pelt M. L., Kamphuis C., Ducro B. J. Predicting survival in dairy cattle by combining genomic breeding values and phenotypic information. Journal of Dairy Science. 2020;103(1):556–571. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2019-16626

9. Zavadilová L., Němcová E., Stípková M. Effect of type traits on functional longevity of Czech Holstein cows estimated from a Cox proportional hazards model. Journal of Dairy Science. 2011;94(8):4090–4099. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2010-3684

10. Gadzhiev A. M., Usachev V. V. Increase in milk productivity and quality at machine cows milking. *Zootekhniya* = Zootechniya. 2019;(11):24–26. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25708/ZT.2019.84.11.007

11. Romanova E. A., Tulinova O. V., Pozovnikova M. V., Vasileva E. N., Petrova A. V., Leybova V. B. Relationship between exterior features with milk component composition of ayrshire cows. *Vestnik rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2023;(2):71–77. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/2/71-77

12. Romanova E. A., Tulinova O. V. Selection and genetic indicators of linear exterior assessment of black-and-white cows. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2025;(1):29–31. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33943/MMS.2025.70.54.005

13. Bhutto A. L., Murray R. D., Woldehiwet Z. Udder shape and teat-end lesions as potential risk factors for high somatic cell counts and intra-mammary infections in dairy cows. The Veterinary Journal. 2010;183(1):63–67. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2008.08.024

14. Sharma A., Sharma S., Singh N., Sharma V., Pal R. S. Impact of udder and teat morphometry on udder health in Tharparkar cows under climatic condition of hot arid region of Thar Desert. Tropical Animal Health and Production. 2016;48(8):1647–1652. DOI: https://doi.org/10.1007/s11250-016-1138-y

15. Singh R. S., Bansal B. K., Gupta D. K. Udder health in relation to udder and teat morphometry in Holstein Friesian × Sahiwal crossbred dairy cows. Tropical Animal Health and Production. 2014;46(1):93–98. DOI: https://doi.org/10.1007/s11250-013-0454-8

16. Konte A. F., Ermilov A. N., Yanchukov I. N., Sermyagin A. A. The genetic relationship parameters between the exterior defects and the linear type of Russian black-and-white cows improved by holstein breed. *Genetika i razvedenie zhivotnikh* = Genetics and breeding of animals. 2018;(3):32–38. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31043/2410-2733-2018-3-32-38

17. Shishkina T. V., Nikishova N. V. Morphological and functional traits and main disadvantages of the udder in cows of black-and-white breed. *Glavnyy zootekhnik* = Head of Animal Breeding. 2022;(5(226)):32–42. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.33920/sel-03-2205-04

Сведения об авторах

Тулинова Ольга Васильевна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории популяционной генетики и разведения животных, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), Московское шоссе, д. 55а, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Российская Федерация, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-5704-4420

✉ **Романова Елена Анатольевна,** научный сотрудник лаборатории популяционной генетики и разведения животных, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), Московское шоссе, д. 55а, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Российская Федерация, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4225-5533**,
e-mail: splicing86@gmail.com

Березина Валентина Викторовна, главный зоотехник отдела воспроизводства и сервисного обслуживания, АО «Кировплем», ул. Земская, д. 38, п. Захарищевы, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610051, e-mail: kirovplem@yandex.ru

Токарев Александр Ильич, аспирант лаборатории популяционной генетики и разведения животных, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), Московское шоссе, д. 55а, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Российская Федерация, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2384-7001**

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), Московское шоссе, д. 55а, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Российская Федерация, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1799-6014

Information about the authors

Olga V. Tulinova, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Population Genetics and Animal Breeding, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Moskovskoe Shosse, 55a, St. Petersburg, Tyarlevo, Russian Federation, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0005-5704-4420**

✉ **Elena A. Romanova**, researcher, the Laboratory of Population Genetics and Animal Breeding, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Moskovskoe shosse, 55a, St. Petersburg, Tyarlevo, Russian Federation, 196625,
e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4225-5533**, e-mail: splicing86@gmail.com

Valentina V. Berezina, chief zootechnician, the Department of Reproduction and Service, Kirov Join Stock Company for breeding work ("Kirovplem"), Zemskaya st., 38, Zakharischevy village, Kirov, Kirov region, Russian Federation, 610051, e-mail: kirovplem@yandex.ru

Alexander I. Tokarev, postgraduate student, the Laboratory of Population Genetics and Animal Breeding, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Moskovskoe shosse, 55a, St. Petersburg, Tyarlevo, Russian Federation, 196625,
e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2384-7001**

Alexander 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, St. Petersburg, Tyarlevo, Russian Federation, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1799-6014

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.190–197
УДК 547.913:661.163.42

(cc) BY

Сравнительный анализ антибактериальной активности масел из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи

© 2026. Ю. О. Лящук[1], О. В. Евдокимова[2], А. И. Новак[2] ✉, О. А. Захарова[2], А. В. Санкин[2]

[1]*ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация,*

[2]*ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Рязань, Российская Федерация*

Исследования выполнены с целью определения антимикробной активности масел из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи. Антимикробную активность масел оценивали с использованием лабораторных тест-штаммов Pseudomonas aeruginosa, Bacillus cereus, Escherichia coli, Staphylococcus aureus. В основу экспериментального метода положен стандартный алгоритм посева в соответствии с модификацией, предполагающей замену дисков на пустотелые цилиндры объёмом 0,2 мл и внутренним диаметром 5 мм при тестировании жидких антимикробных средств (ОФС.1.2.4.0010.18 «Определение антимикробной активности антибиотиков методом диффузии в агар»). Установили, что масла из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи обладают антибактериальным эффектом в отношении Pseudomonas aeruginosa, диаметры зон подавления роста микроорганизмов: 11,4±0,14; 14,1±0,11 и 13,2±0,07 мм соответственно. В отношении остальных тест-штаммов бактерицидный эффект проявили масла ореха кукуи и унгураху, подавляя размножение Bacillus cereus и Escherichia coli локально только под цилиндром. На рост Staphylococcus aureus незначительное подавляющее действие оказало масло ореха кукуи (под цилиндром). Таким образом, масло ореха кукуи проявляет в разной степени выраженную антимикробную активность в отношении всех четырёх тест-штаммов. При этом ингибирование размножения Pseudomonas aeruginosa в наибольшей степени обеспечивает масло семян чёрного тмина. Бактерицидные свойства масла черного тмина обусловлены высокой концентрацией биологически активных веществ (тимола, карвакрола, п-цимена, α-туйена, α-пинена, β-пинена, t-анетола и других ароматических углеводородов). В целом, изученные масла могут быть использованы в качестве натуральных биологически активных добавок в медицине, ветеринарии и кормопроизводстве.

Ключевые слова: *растительные масла, бактерицидный эффект, Pseudomonas aeruginosa, Bacillus cereus, Escherichia coli, Staphylococcus aureus*

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

***Конфликт интересов*:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лящук Ю. О., Евдокимова О. В., Новак А. И., Захарова О. А., Санкин А. В. Сравнительный анализ антибактериальной активности масел из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):190–197. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.190-197

Поступила: 12.02.2025 Принята к публикации: 13.02.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Comparative analysis of the antibacterial activity of oils from ungurahui fruit, kukui nut, and black cumin seeds

© 2026. Yulia O. Lyashchuk[1], Olga V. Evdokimova[2], Alexandra I. Novak[2] ✉, Olga A. Zakharova[2], Anton V. Sankin[2]

[1]*Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation,*

[2]*I. P. Pavlov Ryazan State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Ryazan, Russian Federation*

The research was carried out to analyze the antimicrobial activity of oils from ungurahui fruit, kukui nut, and black cumin seeds. The antimicrobial activity of the oils was evaluated using standard laboratory test strains of Pseudomonas aeruginosa, Bacillus cereus, Escherichia coli, Staphylococcus aureus. The experimental method was based on a standard seeding algorithm in accordance with a modification involving the replacement of discs with hollow cylinders with a volume of 0.2 ml and an inner diameter of 5 mm when testing liquid antimicrobials (OFS.1.2.4.0010.18 "Determination of antimicrobial activity of antibiotics by diffusion into agar"). It has been established that oils from ungurahui fruit, black cumin seeds and kukui nut have an antibacterial effect on Pseudomonas aeruginosa, the diameters of the growth suppression zones of microorganisms are

11.4±0.14; 14.1±0.11 and 13.2±0.07 mm, respectively. For the remaining test strains, ungurahui and kukui nut oils had a bactericidal effect, suppressing the growth of Bacillus cereus and Escherichia coli locally only under the cylinder. The growth of Staphylococcus aureus was slightly suppressed by kukui nut oil (under the cylinder). Thus, kukui nut oil exhibits varying degrees of pronounced antimicrobial activity against all four test strains. At the same time, the inhibition of the reproduction of Pseudomonas aeruginosa is provided to the greatest extent by black cumin seed oil. The bactericidal properties of black cumin oil are due to the high concentration of biologically active substances (thymol, carvacrol, p-cymene, α-thuyene, α-pinene, β-pinene, t-anethole and other aromatic hydrocarbons). In general, the studied oils can be used as natural biologically active additives in medicine, veterinary, and forage production.

Keywords: *vegetable oils, bactericidal effect, Pseudomonas aeruginosa, Bacillus cereus, Escherichia coli, Staphylococcus aureus*

Acknowledgments: the research was carried out without financial support within initiative theme.
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: Lyashchuk Yu. O., Evdokimova O. V., Novak A. I., Zakharova O. A., Sankin A. V. Comparative analysis of the antibacterial activity of oils from ungurahui fruit, kukui nut, and black cumin seeds *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):190–197. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.190-197

Received: 12.02.2025 Accepted for publication: 13.02.2026 Published online: 27.02.2026

В последние годы усиливается тенденция к использованию натуральных продуктов в медицине, косметологии, пищевой промышленности, животноводстве, что связано с глобальной переоценкой взглядов на применение синтетических ингредиентов с точки зрения ущерба, наносимого здоровью людей и окружающей среде [1]. Стремление сохранить здоровье и нормализовать состояние организма приводит потребителей к выбору продукции, изготовленной с применением «зелёных» технологий, добавок на основе натурального сырья [2].

Эфирные масла и экстракты многих растений, применяемых при производстве лекарств, косметических средств и пищевых продуктов, содержат фитонциды и обладают выраженной бактерицидной активностью [3, 4, 5]. В выполненных авторами исследованиях ранее установлена антимикробная активность жидкого экстракта алоэ вера (*Aloe vera* L.) [6], сока и масла мелисы лекарственной (*Melissa officinalis* L.) [7], масла пихты (*Abies alba* Mill.) [3].

Масла семян чёрного тмина (*Nigella sativa* L.), ореха кукуи (*Aleurites moluccanus* (L.) Willd.) и плодов унгураху (*Oenocarpus bataua* Mart.) обладают уникальными биоактивными свойствами, используются в составе лекарственных препаратов, кремов, масок для лица, пищевых добавок [8, 9, 10, 11].

Масло ореха кукуи в мировой практике применяется в комплексной терапии нейроаллергодерматозов, атопического дерматита, псориаза, акне, экземы и других кожных заболеваний. Благодаря высокой концентрации ретиноидов и токоферолов оно способствует регенерации тканей, позволяет уменьшить негативные последствия, связанные с появлением «растяжек» и рубцов [9, 10]. Комплекс ненасыщенных жирных кислот масла ореха кукуи позволяет поддерживать естественный липидный барьер эпидермиса, хорошо абсорбируется, способствует обновлению клеток кожи. Обладая лёгким солнцезащитным эффектом (SPF 10), масло является основой косметических средств и лекарственных препаратов для лечения ран и ожогов [12].

Масло унгураху, получаемое из плодов пальмы *Oenocarpus bataua,* обладает антиоксидантными, солнцезащитными и регенерирующими свойствами благодаря высокому содержанию токоферолов. Высокая биологическая и пищевая ценность масла унгураху обеспечивается заменимыми (аспарагин, глутамин, пролин, глицин, аланин, аргинин, серин) и незаменимыми (лейцин, треонин, валин, лизин, изолейцин и тирозин) аминокислотами. Плоды унгураху используются в пищевой промышленности для приготовления соков и кондитерских изделий, на основе масла производят отхаркивающие средства [13].

Масло семян чёрного тмина характери-зуется высокой концентрацией биологически активных веществ: тимохинона и дигидроти-мохинона (антиоксидантный и нейропротекторный эффекты), тимола и карвакрола (антибактериальный, иммуномодулирующий, гепатопротекторный и кардиопротекторный эффекты), парацимена, α-туйена, α-пинена, β-пинена, t-анетола и других ароматических углеводородов. Масло семян чёрного тмина широко применяется в пищевой промышленности, ветеринарии и медицине при лечении респира-торных заболеваний и гипертензии [8, 11].

Антимикробные свойства масла чёрного тмина, полученного из специально выведенных

культур с повышенной концентрацией ключевого активного компонента тимохинона (TQ), изучены в отношении патогенных грибов и стафилококков [14]. При выполнении диффузионных тестов для оценки воздействия масла на микроорганизмы установлено, что масло с концентрацией TQ 3 % и свободных жирных кислот (FFA) 2 % показало антимикробную активность против *Malassezia furfur*, *Candida albicans* и *Staphylococcus aureus*. При разбавлении до концентрации 0,002 % масло ингибировало рост *M. furfur* более чем на 30 % и *S. aureus* почти на 20 %. Даже при низкой концентрации TQ (0,00006 %) наблюдалось значительное сдерживание роста микроорганизмов.

Компоненты, подавляющие размножение микроорганизмов, присутствуют в той или иной степени в маслах практически всех растений. Однако в научной литературе отсутствуют сведения об антибактериальных и антимикотических свойствах масел из плодов унгураху и ореха кукуи, несмотря на их широкое применение. Важно понимать, являются ли используемые потребителем масла средой для размножения условно патогенных бактерий (синегнойной палочки, золотистого стафилококка и др.).

Цель исследования – определение возможности размножения различных видов грамположительных и грамотрицательных бактерий в коммерческих образцах масел из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи в условиях *in vitro*.

Научная новизна – определение способности к размножению лабораторных штаммов неспоробразующих грамотрицательных бактерий *Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli* и грамположительных *Staphylococcus aureus,* а также спорообразующих грамположительных бактерий *Bacillus cereus* в условиях диффузии масел из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи в питательный агар, проведение сравнительной оценки возможности масел подавлять рост микроорганизмов.

Материал и методы. Исследования выполнены в 2024 году на базе кафедры микробиологии ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации. Изучали антибактериальную активность масел из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи в отношении стандартных лабораторных тест-штаммов *P. aeruginosa, B. cereus, E. coli, S. aureus* из музея кафедры микробиологии.

Использованы масла производства ООО «Косметика Спивак», Московская область, г. Балашиха. Жирнокислотный состав масел указан в сертификатах соответствия.

Исследования выполняли по методике из общей фармакопейной статьи ОФС.1.2.4.0010.18 «Определение антимикробной активности антибиотиков методом диффузии в агар» (Государственная фармакопея Российской Федерации, XIV издание, том I).

В чашки Петри размером 100×20 мм разливали расплавленный до 49±1 °С мясопептонный агар, предварительно засеянный суспензией вегетативных клеток тест-штаммов. Посевная доза составляла 10^9 КОЕ/мл.

Одинаковые стерильные цилиндры из нержавеющей стали высотой 10,0±0,1 мм и внутренним диаметром 5,0±0,1 мм расставляли по 3 экземпляра в каждую чашку на поверхности засеянной среды на равном расстоянии друг от друга и от края чашки. Цилиндры изготовлены в лаборатории ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ».

Для каждого тест-штамма в цилиндры вносили по 100 мкл масел в трехкратной повторности. После этого засеянные чашки Петри выдерживали при комнатной температуре в течение 1 часа, затем инкубировали в термостате при температуре 37 °С на протяжении 18 ч.

Диаметры зон угнетения роста микроорганизмов (d) измеряли линейкой после извлечения цилиндров.

Интерпретация результатов:

D = 0 мм – антибактериальный эффект отсутствует;

D = 5 мм – антибактериальный эффект локально под цилинром;

D > 5 мм – выраженный антибактериальный эффект.

Статистическую обработку полученных результатов проводили стандартными методами с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2013 и сайта medstatistic.ru. Средние значения количественных переменных с нормальным распределением представлены в виде M±m (M – среднее арифметическое значение показателя, выраженное в абсолютных цифрах; m – ошибка среднего арифметического). Расчитывали t-критерий Стьюдента при сравнении средних величин. Статистическую достоверность гипотезы принимали при уровне значимости $p<0,05$; $p<0,01$; $p<0,001$.

Результаты и их обсуждение. Поскольку масла из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи в последние годы все чаще используются для наружного применения, очень важно обеспечить сохранение бактериальной чистоты продукта в течение всего срока использования, чтобы масло не служило средой для размножения микроорганизмов и источником возбудителей бактериальных инфекций, способных вызвать гнойно-воспалительные процессы на коже человека и животных.

Биологически активные свойства масел, обусловливающие их применение в косметологических и лечебных целях, зависят от входящих в их состав жирных кислот (табл. 1).

Таблица 1 – **Жирнокислотный состав масел из плодов унгураху, ореха кукуи и семян чёрного тмина, % /**
Table 1 – **Fatty acid composition of oils from ungurahui fruit, kukui nut and black cumin seeds, %**

Жирная кислота / Fatty acid	*Масло / Oil*		
	плодов унгураху / ungurahui fruit	*ореха кукуи / kukui nut*	*семян чёрного тмина / black cumin seed*
Арахиновая / Arachic	0,07	0,60	12,10
Линолевая / Linoleic	1,93	6,40	59,60
Линоленовая / Linolenic	0,79	33,20	0,30
Олеиновая / Oleic	72,69	13,90	3,10
Пальмитиновая / Palmitic	18,12	43,60	23,30
Пальмитолеиновая / Palmitoleic	0,89	0,20	0,20
Стеариновая / Stearic	1,74	1,60	0,20
Гадолеиновая / Gadoleic	0,11	-	0,40
Маргариновая / Margarine	0,07	-	-
Лауриновая / Lauric	0,01	-	-
Лигноцериновая / Lignoceric	-	-	0,30
Миристиновая / Myristic	0,09	-	-
Пентадекановая / Pentadecanoic	0,27	-	-
Цис-вакценовая / Cis-vaccenic	2,28	-	-

Примечание: «-» – жирная кислота в составе масла не регистрируется /
Note: «-» – the fatty acid is not registered in the composition of the oil

Основу жирнокислотного состава изучаемых масел составляют арахидоновая, линолевая, линоленовая, олеиновая, пальмитиновая, пальмитолеиновая и стеариновая кислоты. Максимальным разнообразием жирных кислот характеризуется масло из плодов унгураху, среди которых преобладают олеиновая (72,69 %) и пальмитиновая (18,12 %) кислоты.

Ряд кислот (лауриновая, маргариновая, миристиновая, пентадекановая, цис-вакценовая) регистрируется не во всех маслах. По содержанию пальмитиновой кислоты лидирует масло ореха кукуи (43,60 %), в составе которого также отмечается большая массовая доля линоленовой кислоты (33,20 %).

В масле семян чёрного тмина преобладают линолевая (59,60 %), пальмитиновая (23,30 %) и арахидоновая (12,10 %) кислоты. Арахиновая, пальмитиновая, стеариновая, маргариновая, лауриновая, миристиновая, пентадекановая, лигноцериновая и другие ненасыщенные жирные кислоты отличаются высокой гидрофобностью. При введении этих жирных кислот в состав кремов и мазей наблюдается положительный эффект сохранения влаги в эпидермисе.

При этом необходимо отметить, что мононенасыщенные жирные кислоты (олеиновая, пальмитолеиновая, гадолеиновая, цис-вакценовая) обладают высокой проникающей способностью и часто входят в состав смягчающих средств для кожи, а полиненасыщенные жирные кислоты (линолевая, линоленовая), предотвращают фотостарение кожи и обладают противовоспалительными свойствами, являясь фотопротекторами [2, 9, 12, 15].

Результаты определения возможности размножения бактерий *P. aeruginosa, B. cereus, E. coli* и *S. aureus* на питательной среде в условиях диффузии масел в агар представлены в таблице 2.

Таблица 2 – **Оценка влияния масел из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи на размножение бактерий /**
Table 2 – **Assessment of the influence of oils from ungurahui fruit, kukui nut, and black cumin seeds on the proliferation of bacteria**

Масло / Oil	*Pseudomonas aeruginosa*	*Bacillus cereus*	*Escherichia coli*	*Staphylococcus aureus*
Диаметр зоны задержки роста (d, мм) / Diameter of the growth inhibition zone (d, mm)				
Ореха кукуи / Kukui nut	13,2±0,07*	5,0±0,14	5,0±0,07	5,0±0,07
Плодов унгураху / Ungurahui fruit	11,4±0,14**	5,0±0,07	0	0
Семян черного тмина / Black cumin seed	14,1±0,11*	0	0	0

* $p<0,01$; ** $p<0,001$

Анализ полученных результатов показывает, что масла из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи обладают выраженной способностью подавлять размножение только *P. aeruginosa.* В отношении других опытных тест-штаммов эффект сдерживания роста и размножения проявляется слабо или отсутствует. Максимальную подавляющую способность на *P. aeruginosa* среди исследуемых образцов проявило масло семян чёрного тмина.

Масло ореха кукуи повлияло на размножение *B. cereus, E. coli, S. aureus* локально под цилиндром. Такой же эффект в отношении *B. cereus* показало масло из плодов унгураху. Размножению *E. coli* и *S. aureus* масла из плодов унгураху и семян черного тмина не препятствуют. Масло черного тмина не влияло на размножение бактерий *B. cereus*.

Насыщенность масел растений летучими компонентами, ароматическими веществами, жирными кислотами, стеролами и токоферолами обусловливает их применение в кулинарии, фармацевтике и косметологии [15].

Исследователями установлено, что тимол, эфирные масла и олеорезины чёрного тмина являются натуральными антимикробными агентами, подавляющими размножение бактерий [16]. Бактерицидные свойства масел из плодов унгураху и ореха кукуи ранее не изучали.

В результате выполненных нами исследований установлено, что масло семян черного тмина оказало бактериостатическое воздействие только на *P. aeruginosa*, при этом подавляющее действие на грамположительные бактерии не выявлено. Подавление роста и размножения грамположительных и грамотрицательных бактерий обеспечивало масло ореха кукуи, максимально выраженное в отношении синегнойной палочки.

Угнетение размножения тест-штаммов активными веществами в составе масел из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи в нашем опыте, по-видимому, связано с нарушением метаболизма жирных кислот у бактерий. Жирные кислоты входят в состав клеточных структур грамположительных и грамотрицательных бактерий, включаются в их метаболизм, являются биомаркерами патогенетического и адаптационно-персистентного потенциала микроорганизмов [17, 18]. Входящие в состав клеточной стенки бифидобактерий насыщенные жирные кислоты (лауриновая, миристиновая, пентадекановая, пальмитиновая, гептадекановая, стеариновая, эйкозановая) обеспечивают их адгезивный потенциал [17]. Бактерии с толстой пептидогликановой клеточной стенкой характеризуются наличием насыщенных жирных кислот с нечётным числом атомов углерода. Обязательным компонентом клеточной стенки грамотрицательных бактерий являются циклопропановые жирные кислоты, трансизомеры ненасыщенных жирных кислот и жирные кислоты, содержащие гидроксильные группы [18].

Заключение. В отношении *P. aeruginosa* антибактериальный эффект показали все растительные масла, использованные в опыте: из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи (диаметры зон подавления роста – 11,4±0,14; 14,1±0,11 и 13,2±0,07 мм соответственно). Ингибирование размножения *B. cereus* и *E. coli* локально под цилиндром обеспечивали масла ореха кукуи и плодов унгураху, *S. aureus* – только масло ореха кукуи.

В целом масла из плодов унгураху, семян чёрного тмина и ореха кукуи могут быть использованы в качестве натуральных биологически активных добавок на масляной основе для наружного и внутреннего применения не только в медицине, но и ветеринарии за счет богатого жирнокислотного, аминокислотного и витаминного состава.

Масла ореха кукуи и плодов унгураху, активно используемые в косметологии при кожных заболеваниях человека, можно вводить в состав мазей и эмульсий для наружного применения животным при аналогичных проблемах (дерматиты разного генеза, травмы, ожоги, расчесы при укусах членистоногих). Кроме того, растительные масла являются ценной кормовой добавкой для домашней птицы и млекопитающих.

Масло семян черного тмина производители кормов и биодобавок для животных рекомендуют вводить в рацион при аллергии, проблемах с пищеварением, болезнях респираторного тракта, кожных заболеваниях. Масло оказывает общеукрепляющее и мягкое имму-ностимулирующее действие, нормализует метаболизм. Фитонутриенты масла черного тмина (нигеллин, сапонин, тимохинон) обладают антиоксидантным действием, защищают клетки от свободных радикалов[1].

Присутствие *E. coli* и *S. aureus* в маслах недопустимо, строго контролируется на производстве, но контаминация ими не исключается при несоблюдении правил асептики потребителем. *P. aeruginosa* и *B. cereus* часто загрязняют масла при длительном использовании, попадая в открытые емкости с пылью. В связи с этим, необходимо проводить регулярный бактериологический контроль при длительном использовании масел потребителями, так как бактерицидные свойства биологически активных компонентов масел незначительны и проявляются в отношении ограниченного круга микроорганизмов.

Список литературы

1. Ayouaz S., Fibri D. L., Arab R., Mouhoubi K., Madani K. Phytochemistry and Biological-Pharmacological Profile of Aleurites moluccanus: A Critical Review. Journal of Biomedical Research & Environmental Sciences. 2023;4(2):310–316. DOI: https://doi.org/10.37871/jbres1677

2. Vargas-Arana G., Merino-Zegarra C., Riquelme-Penaherrera M., Nonato-Ramirez L., Delgado-Wong H., Pertino M. W. et al. Antihyperlipidemic and Antioxidant Capacities, Nutritional Analysis and UHPLC-PDA-MS Characterization of Cocona Fruits (*Solanum sessiliflorum* Dunal) from the Peruvian Amazon. Antioxidants. 2021;10:1566. DOI: https://doi.org/10.3390/antiox10101566

3. Новак А. И., Назарян А. Р., Зубцова Ю. В. Эффективность антимикробных препаратов различного происхождения против *Staphylococcus aureus*. Приложение к журналу Лабораторная диагностика. Восточная Европа: Материалы II Российского конгресса по медицинской микробиологии и инфектологии, Москва, 29 февраля – 01 марта 2024 года. Минск: Издательское частное унитарное предприятие «Профессиональные издания», 2024. С. 74–76. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65445712%20 EDN: WRVTUJ

4. Roumy V., Gutierrez-Choquevilca A. L., Lopez Mesia J. P., Ruiz L., Ruiz Macedo J. C., Abedini A. et al. In vitro Antimicrobial Activity of Traditional Plant Used in Mestizo Shamanism from the Peruvian Amazon in Case of Infectious Diseases. Pharmacognosy Magazine. 2015t;11(Suppl 4):S625–S633. DOI: https://doi.org/10.4103/0973-1296.172975

5. Akinduti P. A., Emoh-Robinson V., Obamoh-Triumphant H. F., Obafemi Y. D., Bahjo T. T. Antibacterial activities of plant leaf extracts against multi-antibiotic resistant Staphylococcus aureus associated with skin and soft tissue infections. BMC Complementary Medicine and Therapies. 2022;22:47. DOI: https://doi.org/10.1186/s12906-022-03527-y

6. Федосеев А. В., Евдокимова О. В., Новак А. И., Черданцева Т. М., Качкуркина А. А., Сифоров Р. В., Аль М. А. Способ повышения антимикробной активности жидкого экстракта Алоэ вера: пат. № 2796814 Российская Федерация № 2022108251: заявл. 29.03.2022; опубл. 29.05.2023. Бюл. №16. 7 с.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54053715

7. Лящук Ю. О., Новак А. И. Изучение бактерицидной активности сока и масла *Melissa officinalis* L. Фундаментальные и прикладные аспекты микробиологии в науке и образовании: мат-лы международн. Научн.-практ. конф., Рязань, 25–26 мая 2022 года. Рязань: Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, 2022. С. 89–94.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49742131&pff=1 EDN: ASBMUA

8. Hannan M. A., Rahman M. A., Sohag A. A. M., Uddin M. J., Dash R., Sikder M. H. et al. Black cumin (*Nigella sativa* L.): A comprehensive review on phytochemistry, health benefits, molecular pharmacology, and safety. Nutrients. 2021;13:1784. DOI: https://doi.org/10.3390/nu13061784

9. Rezaire A., Robinson J.-C., Bereau D., Verbaere A., Sommerer N., Khan M. K. et al. Fils-LycaonAmazonian palm Oenocarpus bataua («patawa»): Chemical and biological antioxidant activity – Phytochemical composition. Food Chemistry. 2014;149:62–70. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.077

10. Carrillo W., Carpio C., Morales D., Alvarez M., Silva M. Fatty acids content in Ungurahua oil (*Oenocarpus bataua*) from ecuador. Findings on adulteration of Ungurahua oil in Ecuador. Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. 2018;11(2):391–394. DOI: https://doi.org/10.22159/ajpcr.2018.v11i2.16967

[1]Canina® SCHWARZKÜMMELÖL – Масло черного тмина. «Canina – витамины для животных». Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: https://canina.ru/catalog/for_dog/canina_schwarzk_mmel_l_maslo_chernogo_tmina/?ysclid=mlfixuo8458980097 (дата обращения: 13.01.2025).

11. Mehmood A., Ayub Q., Naveed K. Phytochemical screening and antibacterial efficacy of black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds. Fuuast Journal of Biology. 2021;11(1):23–28. URL: https://www.researchgate.net/publication/352740842_PHYTOCHEMICAL_SCREENING_AND_ANTIBACTERIAL_EFFICACY_OF_BLACK_CUMIN_NIGELLA_SATIVA_L_SEEDS

12. Krist S., Kukui Oil. In: Vegetable Fats and Oils. 2020:405–408. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-30314-3

13. Montúfar R., Laffargue A., Pintaud J. C., Hamon S., Avallone S., Dussert S. *Oenocarpus bataua* Mart. (Arecaceae): Rediscovering a Source of High Oleic Vegetable Oil from Amazonia. Journal of the American Oil Chemists' Society. 2010;87(2):167–172. DOI: https://doi.org/10.1007/s11746-009-1490-4

14. Ogen-Shtern N., Margarita Y., von Oppen-Bezalel L. Antimicrobial activity by a unique composition of cold pressed Nigella sativa seed (black cumin) oil. Food Science & Nutrition Research. 2021;4(2):1-9. DOI: https://doi.org/10.33425/2641-4295.1050

15. Krist S. Lexikon der pflanzlichen Fette und Öle. 2013. 30 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1005-8

16. Singh S., Das S. S., Singh G., Schuff C., de Lampasona M. P., Catalán C. A. N. Composition, in vitro antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and oleoresins obtained from black cumin seeds (*Nigella sativa* L.). BioMed Research International. 2014;2014:1–10. DOI: http://dx.doi.org/10.1155/2014/918209

17. Сухих А. С., Захарова Ю. В. Хроматографический анализ жирных кислот клеточных стенок бифидобактерий с различной гидрофобностью. Сорбционные и хроматографические процессы. 2015;15(6):776–783. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25969742 EDN: TRMDAB

18. Шипко Е. С., Дуванова О. В. Изменение спектра жирных кислот как один из механизмов адаптации/персистенции микроорганизмов. Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2019;(5):109–118. DOI: https://doi.org/10.36233/0372-9311-2019-5-109-118 EDN: GHVPZC

References

1. Ayouaz S., Fibri D. L., Arab R., Mouhoubi K., Madani K. Phytochemistry and Biological-Pharmacological Profile of Aleurites moluccanus: A Critical Review. Journal of Biomedical Research & Environmental Sciences. 2023;4(2):310–316. DOI: https://doi.org/10.37871/jbres1677

2. Vargas-Arana G., Merino-Zegarra C., Riquelme-Penaherrera M., Nonato-Ramirez L., Delgado-Wong H., Pertino M. W. et al. Antihyperlipidemic and Antioxidant Capacities, Nutritional Analysis and UHPLC-PDA-MS Characterization of Cocona Fruits (Solanum sessiliflorum Dunal) from the Peruvian Amazon. Antioxidants. 2021;10:1566. DOI: https://doi.org/10.3390/antiox10101566

3. Novak A. I., Nazaryan A. R., Zubtsova Yu. V. The effectiveness of antimicrobial preparations of various origin against Staphylococcus aureus. Appendix to the journal Laboratory Diagnostics. Eastern Europe: Proceedings of the II Russian Congress on Medical Microbiology and Infectology, Moscow, February 29 – March 01, 2024. Minsk: Izdatelskoe chastnoe unitarnoe predpriyatie «Professionalnie izdaniya», 2024. pp. 74–76. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65445712%20

4. Roumy V., Gutierrez-Choquevilca A. L., Lopez Mesia J. P., Ruiz L., Ruiz Macedo J. C., Abedini A. et al. In vitro Antimicrobial Activity of Traditional Plant Used in Mestizo Shamanism from the Peruvian Amazon in Case of Infectious Diseases. Pharmacognosy Magazine. 2015t;11(Suppl 4):S625–S633. DOI: https://doi.org/10.4103/0973-1296.172975

5. Akinduti P. A., Emoh-Robinson V., Obamoh-Triumphant H. F., Obafemi Y. D., Bahjo T. T. Antibacterial activities of plant leaf extracts against multi-antibiotic resistant Staphylococcus aureus associated with skin and soft tissue infections. BMC Complementary Medicine and Therapies. 2022;22:47. DOI: https://doi.org/10.1186/s12906-022-03527-y

6. Fedoseev A. V., Evdokimova O. V., Novak A. I., Cherdantseva T. M., Kachkurkina A. A., Siforov R. V., Al M. A. Method of increasing the antimicrobial activity of liquid Aloe vera extract: Patent RF, no. 2796814. 2023. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54053715

7. Lyashchuk Yu. O., Novak A. I. Study of the bactericidal activity of Melissa officinalis L. juice and oil. Fundamental and applied aspects of microbiology in science and education: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Ryazan, May 25-26, 2022. Ryazan: *Ryazansky gosudarstvenny meditsinsky universitet imeni akademika I. P. Pavlova*, 2022. pp. 89–94. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49742131&pff=1

8. Hannan M. A., Rahman M. A., Sohag A. A. M., Uddin M. J., Dash R., Sikder M. H. et al. Black cumin (*Nigella sativa* L.): A comprehensive review on phytochemistry, health benefits, molecular pharmacology, and safety. Nutrients. 2021;13:1784. DOI: https://doi.org/10.3390/nu13061784

9. Rezaire A., Robinson J.-C., Bereau D., Verbaere A., Sommerer N., Khan M. K. et al. Fils-LycaonAmazonian palm *Oenocarpus bataua* («patawa»): Chemical and biological antioxidant activity – Phytochemical composition. Food Chemistry. 2014;149:62–70. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.077

10. Carrillo W., Carpio C., Morales D., Alvarez M., Silva M. Fatty acids content in Ungurahua oil (*Oenocarpus bataua*) from ecuador. Findings on adulteration of Ungurahua oil in Ecuador. Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. 2018;11(2):391–394. DOI: https://doi.org/10.22159/ajpcr.2018.v11i2.16967

11. Mehmood A., Ayub Q., Naveed K. Phytochemical screening and antibacterial efficacy of black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds. Fuuast Journal of Biology. 2021;11(1):23–28. URL: https://www.researchgate.net/publication/352740842_PHYTOCHEMICAL_SCREENING_AND_ANTIBACTERIAL_EFFICACY_OF_BLACK_CUMIN_NIGELLA_SATIVA_L_SEEDS

12. Krist S., Kukui Oil. In: Vegetable Fats and Oils. 2020:405–408. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-30314-3

13. Montúfar R., Laffargue A., Pintaud J. C., Hamon S., Avallone S., Dussert S. *Oenocarpus bataua* Mart. (Arecaceae): Rediscovering a Source of High Oleic Vegetable Oil from Amazonia. Journal of the American Oil Chemists' Society. 2010;87(2):167–172. DOI: https://doi.org/10.1007/s11746-009-1490-4

14. Ogen-Shtern N., Margarita Y., von Oppen-Bezalel L. Antimicrobial activity by a unique composition of cold pressed Nigella sativa seed (black cumin) oil. Food Science & Nutrition Research. 2021;4(2):1–9. DOI: https://doi.org/10.33425/2641-4295.1050

15. Krist S. Lexikon der pflanzlichen Fette und Öle. 2013. 30 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1005-8

16. Singh S., Das S. S., Singh G., Schuff C., de Lampasona M. P., Catalán C. A. N. Composition, in vitro antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and oleoresins obtained from black cumin seeds (*Nigella sativa* L.). BioMed Research International. 2014;2014:1–10. DOI: http://dx.doi.org/10.1155/2014/918209

17. Sukhikh A. S., Zakharova Yu. V. Chromatographic analyses of membrane fatty acid bifidobacterium with different hydrophobicity. *Sorbtsionnie i khromatograficheskie protsessi* = Sorption and Chromatographic Processes. 2015;15(6):776–783. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25969742

18. Shipko E. S., Duvanova O. V. Changing the spectrum of fatty acids as one of the mechanisms of adaptation/persistence of microorganisms. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii* = Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology. 2019;(5):109–118. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36233/0372-9311-2019-5-109-118

Сведения об авторах

Лящук Юлия Олеговна, кандидат техн. наук, научный сотрудник лаборатории инновационных технологий и технических средств кормления 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/0000-0002-3612-1707

Евдокимова Ольга Валерьевна, кандидат мед. наук, доцент, заведующий кафедрой микробиологии, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Высоковольтная, д. 9, г. Рязань, Российская Федерация, 390026,
e-mail: rzgmu@rzgmu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5035-7302**

✉ **Новак Александра Ивановна**, доктор биол. наук, доцент, профессор кафедры микробиологии, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Высоковольтная, д. 9, г. Рязань, Российская Федерация, 390026,
e-mail: rzgmu@rzgmu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0345-7316,** e-mail: marieta69@mail.ru

Захарова Ольга Алексеевна, доктор с.-х. наук, доцент, доцент кафедры микробиологии, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Высоковольтная, д. 9, г. Рязань, Российская Федерация, 390026,
e-mail: rzgmu@rzgmu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000- 0002-0933-0714**

Санкин Антон Владимирович, ассистент кафедры микробиологии, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Высоковольтная, д. 9, г. Рязань, Российская Федерация, 390026, e-mail: rzgmu@rzgmu.ru

Information about the authors

Yulia O. Lyashchuk, PhD in Engineering, researcher, the Laboratory of Innovative Technologies and Technical Means of Feeding in Animal Husbandry, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institutsky Proezd, 5, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3612-1707**

Olga V. Evdokimova, PhD in Medical Science, associate professor, Head of the Department of Microbiology, I. P. Pavlov Ryazan State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Vysokovoltnaya str., 9, Ryazan, Russian Federation, 390026, e-mail: rzgmu@rzgmu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5035-7302**

✉ **Alexandra I. Novak**, DSc in Biological Science, associate professor, professor at the Department of Microbiology, I. P. Pavlov Ryazan State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Vysokovoltnaya str., 9, Ryazan, Russian Federation, 390026, e-mail: rzgmu@rzgmu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0345-7316,**
e-mail: marieta69@mail.ru

Olga A. Zakharova, DSc in Agricultural Science, associate professor, associate professor at the Department of Microbiology, I. P. Pavlov Ryazan State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Vysokovoltnaya str., 9, Ryazan, Russian Federation, 390026, e-mail: rzgmu@rzgmu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0933-0714**

Anton V. Sankin, senior lecturer, the Department of Microbiology, I. P. Pavlov Ryazan State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Vysokovoltnaya str., 9, Ryazan, Russian Federation, 390026,
e-mail: rzgmu@rzgmu.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.198–207
УДК 638.15-08:638.154.6

Эффективность применения муравьиной кислоты для профилактики и лечения тропилелапсоза в семьях *Apis mellifera* L.

© 2026. А. З. Брандорф✉, Ю. А. Злобина, Е. В. Дягилева
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В условиях массового коллапса пчелиных семей поиск высокоэффективных инструментов в сохранении медоносных пчел – актуальная задача. Цель исследований – отработать схему применения муравьиной кислоты (85%-й) в пчелиных семьях (Apis mellifera L.), пораженных тропилелапсозом. Изучение эффективности муравьиной кислоты проведено на пасеках Краснодарского края в мае – августе 2024 г. и Республики Дагестан в июне – августе 2025 г., где были сформированы по одной контрольной и две опытных группы по 8 пчелиных семей в каждой. Впервые изучена сравнительная эффективность применения муравьиной кислоты при тропилелапсозе у медоносных пчел по стандартной схеме (при 3-кратном использовании испарителей с междозным интервалом 7 дней), рекомендуемой при варроозе, а также по изучаемой схеме (5-кратное использование с интервалом 4 дня). Определена интенсивность испарения муравьиной кислоты в сутки. Контроль эффективности муравьиной кислоты проводили по степени инфестации расплода клещом Tropilaelaps spp. до обработки и через 25, 45, 60 дней после начала обработки. Выявлено, что интенсивность испарения муравьиной кислоты в условиях температуры окружающего воздуха 16–27 °С составляет от 80 до 100 % в течение 3 дней, в результате в гнезде пчелиной семьи формируется период, когда отсутствует терапевтический эффект препарата. Учитывая биологические особенности клеща Tropilaelaps spp., который преимущественно находится в печатном расплоде, особи, вышедшие из ячеек в данный период, не погибают, а вновь приступают к репродукции, поэтому необходимо использовать препараты пролонгированного действия. Применение муравьиной кислоты в пчелиных семьях на начальной стадии поражения тропилелапсозом достоверно снижало степень инфестации печатного расплода через 60 дней в среднем в 3,7 раза по стандартной схеме лечения варрооза и в 12,0 раз по изучаемой схеме по сравнению с контрольной группой (P≤0,01). Муравьиная кислота при 5-кратном использовании с интервалом в 4 дня в сравнении со стандартной схемой применения позволяет достоверно снизить степень поражения тропилелапсозом печатного расплода в пчелиных семьях через 60 дней в 2,7–3,8 раза (P≤0,01) с эффективностью 65–74 %.

Ключевые слова: *медоносная пчела, инфестация, интенсивность испарения, Tropilaelaps mersedesae, пролонгация*

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00169, https://rscf.ru/project/25-26-00169

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы и пчеловодов, предоставивших возможность проведения опытов.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Брандорф А. З., Злобина Ю. А., Дягилева Е. В. Эффективность применения муравьиной кислоты для профилактики и лечения тропилелапсоза в семьях *Apis mellifera* L. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):198–207. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.198-207

Поступила: 03.11.2025 Принята к публикации: 04.12.2025 Опубликована онлайн: 27.02.2026

The effectiveness of formic acid for the prevention and treatment of Tropilelapsosis in *Apis mellifera* L. colonies

Anna Z. Brandorf✉, Yulia A. Zlobina, Elena V. Diaghileva
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

In the context of widespread honey bee colony collapse, the search for highly effective tools for honey bee conservation is a pressing issue. The aim of the research was to develop a scheme for the application of formic acid (85 %) in Apis mellifera L. colonies affected by Tropilaelaps spp. The study of formic acid effectiveness was conducted in apiaries of the Krasnodar Region from May to August 2024 and in the Republic of Dagestan from June to August 2025. In each location, one control group and two experimental groups were formed, with 8 bee colonies in each. For the first time, the comparative effectiveness of formic acid application for Tropilaelapsosis in honey bees was studied using both the standard scheme (3 applications of evaporators with a 7-day interval) recommended for Varroosis and the experimental scheme (5 applications with a 4-day interval). The daily evaporation intensity of formic acid was determined. The effectiveness of formic acid was monitored by the degree of brood infestation with Tropilaelaps spp. mites before treatment and 25, 45, and 60 days after the start of treatment. It has been established that the evaporation intensity of formic acid at ambient temperatures of 16–27 °C ranges from 80 to 100 % within 3 days, resulting in a period within the bee colony's nest where the therapeutic effect of the preparation is absent. Considering the biological characteristics of Tropilaelaps spp. mites which are predominantly found in capped brood, individuals emerging from

cells during this period do not die but resume reproduction. Therefore, it is necessary to use prolonged-action preparations. The application of formic acid in bee colonies at the initial stage of infestation with Tropilaelaps spp. significantly reduced the degree of capped brood infestation after 60 days by an average of 3.7 times using the standard varroosis treatment scheme and by 12.0 times using the studied scheme compared to the control group (P≤0.01). Formic acid, when used 5 times with a 4-day interval, compared to the standard application scheme, significantly reduced the degree of Tropilaelaps spp. infestation in capped brood in bee colonies after 60 days by 2.7–3.8 times (P≤0.01), with an effectiveness of 65–74 %.

Keywords: *honey bee, infestation, evaporation intensity, Tropilaelaps mersedesae, prolongation*

Acknowledgments: the research was supported by Russian Science Foundation https://rscf.ru/en/project/25-26-00169
The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work and the beekeepers who provided the opportunity to conduct experiments.

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

For citation: Brandorf A. Z., Zlobina Yu. A., Diaghileva E. V. The effectiveness of formic acid for the prevention and treatment of Tropilelapsosis in *Apis mellifera* L. colonies. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):198–207. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.198-207

Received: 03.11.2025 Accepted for publication: 04.12.2025 Published online: 27.02.2026

Среди опылителей медоносные пчелы (*Apis mellifera* L.) – одни из многочисленных в экосистеме, от их количества напрямую зависит опыление более 85 % энтомофильных растений, но они, как и все живые объекты, подвергаются высокой паразитарной нагрузке акарозами. В последние годы в мировом пчеловодстве отмечается массовая гибель пчелиных семей [1, 2, 3]. Основные причины коллапса: поражение пчелиных семей эктопаразитом – клещом *Varroa destructor*; современные технологии содержания и разведения; изменение климатических условий; массовое использование пестицидов [4].

В последнее десятилетие наряду с клещом *Varroa destructor* медоносным пчелам в странах Восточной Азии и юга Российской Федерации наносит существенный экономический ущерб гамазовый клещ *Tropilaelaps* spp., который имеет сходные биологические особенности с циклом развития медоносных пчел и клещом *Varroa destructor*. Тропилелапс в качестве паразита медоносных пчел зафиксирован около 80 лет назад на Филиппинах, но его массовое распространение на север Евразии отмечено в последние 16 лет [5].

Особенностью клеща *Tropilaelaps* spp. является то, что в отличие от клеща *Varroa destructor*, он преимущественно поражает расплод на всех стадиях личинки и куколки, питаясь только на расплоде, так как не способен прокусить кутикулу взрослых особей. Период форезии (нахождения на взрослых пчелах) составляет не более 1–3 дней, продолжительность жизни в сухой пыльце 3 дня, пустых сотах – до 6 дней [6, 7]. Откладку яиц в ячейки расплода самки могут начинать за 1-2 дня до запечатывания расплода, в отличие от варрооа. Откладка яиц самками тропилелапса происходит каждые 24 часа. Необходимо обратить внимание на следующие особенности клещей *Tropilaelaps* spp.:

- Клещи бóльший период находятся в печатном расплоде, поэтому препараты непролонгируемого действия малоэффективны, что связано с коротким периодом форезии.
- Выживаемость клещей на взрослых пчелах составляет около 2–10 суток при отсутствии расплода в пчелиных семьях [8].
- Тропилелапсоз исчезает на определенный период в разные сроки в неодинаковых природно-климатических условиях [8].

Учитывая, что с 2021 года тропилелапс распространился на территории Российской Федерации, возникла необходимость разработки методов профилактики и лечения пчелиных семей. Несмотря на то, что *Tropilaelaps* spp., как и *Varroa destructor* не устойчив ко многим акарицидам (амитразу, флувалинату), эффективность их использования низкая. Обусловлено это особенностями развития клеща, который преимущественно находится в ячейках печатного расплода, куда не проникает ни одно действующее вещество [9, 10, 11].

В настоящее время проведен ряд исследований по эффективности разных веществ для профилактики и лечения семей медоносных пчел, пораженных тропилелапсозом в условиях Китая, Тайланда. Среди веществ изучена водная смесь амитраза и порошка серы, которой обрабатывали рамки с расплодом, в результате чего достоверно снизилась степень инфестации ячеек расплода в среднем в 10 раз (P≤0,01), но данный способ трудозатратен, небезопасен для пчел, не показывает высокой пролонгированной эффективности [12].

Изучены средства растительного происхождения – композиции хмелевой кислоты, листьев чеснока и солодки, корневищ куркумы, при использовании которых увеличилось количество осыпающихся на дно улья особей тропилелапса, причем гибель была больше, чем

в семьях, где использовали серу, но полного исчезновения тропилелапсоза не выявлено [13, 14, 15, 16].

При сравнении эффективности муравьиной кислоты и тимола наибольшую эффективность показала кислота, при использовании которой осыпалось на 25 % больше клещей, чем в пчелиных семьях, где применяли тимол. Все исследования проведены в странах южной Азии, в природно-климатических условиях, где отсутствует безрасплодный период в пчелиных семьях. Некоторые исследования проведены на пчелах другого вида (*Apis cerana* Fab.), устойчивого к паразитам, способного регулировать их численность (изменяя период воспитания расплода – удлиняя срок, покидая гнезда при высокой степени поражения акарозами, проявляя выраженный груминг) [17, 18].

В настоящее время не выявлено высокоэффективного средства профилактики и лечения тропилелапсоза в пчелиных семьях (*Apis mellifera* L.). В связи с этим актуальным вопросом является поиск эффективного метода и вещества для снижения инфестации пчелиных семей при тропилелапсозе.

Муравьиная кислота нашла широкое применение в пчеловодстве в период появления варрооза, но, несмотря на эффективность, ее использование ограничивают некоторые факторы: температура и влажность окружающего воздуха, сила и состояние пчелиной семьи. В то же время муравьиная кислота безопасна для продукции пчеловодства, так как присутствует в некоторых видах меда в разном количестве естественно, что позволяет ее отнести к безопасным акарицидным средствам. Не рекомендуется использовать ее в период медосбора, так как изменяется вкус и аромат меда. Существующие стандарты на мед натуральный не регламентируют его анализ на содержание муравьиной кислоты, так как она отмечается в нектаре растений в разном количестве [19].

В современном пчеловодстве схема применения муравьиной кислоты в пчелиных семьях, пораженных вароозом, достаточно отработана, но не дает того же положительного эффекта при тропилелапсозе. В связи с этим актуальным вопросом является изучение особенностей использования муравьиной кислоты в пчелиных семьях (*Apis mellifera* L.), пораженных тропилелапсозом.

Цель исследований – отработать схему применения муравьиной кислоты (85%-й) в пчелиных семьях (*Apis mellifera* L.), пораженных тропилелапсозом.

Научная новизна – впервые отработана схема применения муравьиной кислоты в природно-климатических условиях Российской Федерации, изучен пролонгированный эффект в семьях медоносных пчел, пораженных *Tropilaelaps mersedesae*.

Материал и методы. Изучение эффективности и особенностей применения муравьиной кислоты проведено в пчелиных семьях с целью снижения степени инфестации тропилелапсозом.

Характеристика пчелиных семей экспериментальных групп. Исследования проведены на пасеках двух регионов Российской Федерации в 2024-2025 гг., где семьи медоносных пчел поражены *Tropilaelaps mersedesae.*

Краснодарский край. Наблюдения за пчелиными семьями проведены с февраля по август, исследования – с мая по август 2024 года на пасеке, расположенной в Краснодарском крае, с количеством 140 пчелиных семей серой горной кавказской породы (*Apis mellifera caucasica* Gorb.). Пасека имеет медотоварное направление, стационарная. В период с февраля по апрель 2024 г. случаи заражения пчелиных семей клещом тропилелапс не зафиксированы. Начало постановки эксперимента 1 мая 2024 г., когда степень поражения пчелиных семей слабая. На данной пасеке клещ тропилелапс впервые был обнаружен в декабре 2021 г. В пчелиных семьях на пасеке круглый год присутствует расплод.

Республика Дагестан. Исследования проведены с июня по август 2025 г. на пасеке, расположенной в Республике Дагестан, 1300 м над уровнем моря с количеством 200 пчелиных семей карпатской породы (*Apis mellifera carpatica* Avet.), со слабой степенью инфестации тропилелапсозом. В мае клещ тропилелапс в пчелиных семьях не выявлен, появился в июне. Пасека имеет медотоварное направление, стационарная. На данной пасеке впервые тропилелапс был обнаружен в сентябре 2023 г. Расплод в пчелиных семьях присутствует с февраля по ноябрь.

Состояние пчелиных семей опытных и контрольных групп представлено в таблице 1.

Метод оценки инфестации пчелиных семей. Степень инфестации пчелиных семей тропилелапсозом определяли методом вскрытия печатного расплода, для чего из рамок с печатным расплодом в стадии куколки с темными глазами вырезался участок сота размером 3х15 см (100 пчелиных ячеек), который охлаждали при температуре +4…+6 °С в течение 2-3 часов.

Ячейки расплода вскрывали препаровальной иглой и пинцетом под микроскопом

МБС-10, оборудованным видеокамерой. Проводили подсчет количества ячеек, где обнаружены клещи на всех стадиях развития имаго и нимфы[1, 2].

Постановка эксперимента. Для отработки эффективной схемы в пчелиных семьях использована муравьиная кислота (85%-я) производства Китай. Для испарения применяли пластиковые испарители со специальным химически инертным поролоном с задвижкой регулировки дозировки подачи паров, диаметр 115 мм (производство Китай). Для отработки схемы поставлено два эксперимента.

Эксперимент 1. Изучение динамики испарения муравьиной кислоты. На пасеках Краснодарского края (май 2024 г.) и Республики Дагестан (июнь 2025 г.) изучена интенсивность испарения муравьиной кислоты в 5 пчелиных семьях на каждой пасеке. В Краснодарском крае сила пчелиной семьи 4,5±0,85 улочек, 2,5±0,52 рамок с разновозрастным расплодом; в Республике Дагестан – 10,5±0,63 улочек, 4,8±0,92 рамок с разновозрастным расплодом, испарители с муравьиной кислотой помещали сверху рамок.

Испарители предварительно взвешивали на лабораторных весах, маркировали, затем в них заливали кислоту в количестве 30 г. Испарители размещали в пчелиные семьи в 9 часов утра, далее ежедневно через 24 часа испарители вновь взешивали, по разнице в массе рассчитывали количество муравьиной кислоты, которое испарилось.

Эксперимент 2. Оценка эффективности муравьиной кислоты в снижении инфестации тропилелапсозом в пчелиных семьях. После оценки состояния пчелиных семей, на каждой пасеке было сформировано по три группы: две опытные и одна контрольная, по 8 пчелиных семей в каждой. Пчелиные семьи экспериментальных групп характеризовались одинаковой силой и степенью поражения расплода клещом *Tropilaelaps mersedesae* (табл. 1). На пасеках сформированы группы: в Краснодарском крае – I опытная, II опытная, К – контрольная; в Республике Дагестан – I опытная, II опытная, К – контрольная.

Применение муравьиной кислоты проводили в весенне-летний период: в Краснодарском крае с 1 мая 2024 г. при температуре окружающего воздуха от +18 °С до +27 °С; в Республике Дагестан с 15 июня 2025 г. при температуре от +19 °С до +35 °С. Обработку пчелиных семей при тропилелапсозе осуществляли по двум схемам с размещением 30 г (однократная доза) муравьиной кислоты.

Таблица 1 – **Характеристика пчелиных семей, пораженных тропилелапсозом на начало эксперимента, и схема обработки муравьиной кислотой (n = 8) /**
Table 1 – **Characteristics of bee colonies affected by Tropilaelaps at the beginning of the experiment and the scheme of treatment with formic acid (n = 8)**

Группа / Group	*Сила семьи, улочек / The power of the framework*	*Степень инфестации, % / Degree of infestation, %*	*Схема обработки / The scheme of treatment*	
			кратность / multiplicity	*интервал, сут / unterval, days*
Краснодарский край / Krasnodar Region (2024 г.)				
I опытная / I Experimental	4,70±1,15	18,50±0,09	3	7
II опытная / II Experimental	4,60±0,93	19,70±0,13	5	4
Контрольная / Control	4,90±1,08	18,30±0,08	-	-
Республика Дагестан / Republic of Dagestan (2025 г.)				
I опытная / I Experimental	10,70±1,15	12,70±0,05	3	7
II опытная / II Experimental	11,10±0,93	9,70±0,03	5	4
Контрольная / Control	11,90±1,08	8,30±0,08	-	-

[1]Anderson D. L., Roberts J. M. K. Standard methods for *Tropilaelaps* mites research. In V. Dietemann, J. D. Ellis, P. Neumann (Eds). The COLOSS BEEBOOK, Volume II: standard methods for Apis mellifera pest and pathogen research. Journal of Apicultural Research. 2013;52(4):1–16. DOI: http://dx.doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.21
[2]OIE. *Tropilaelaps* infestation of honey bee (*Tropilaelaps* clarea, T. koenigerum). In Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial anomals (mammals, birds and bees) (5th Ed.). Office International des Epizooties. Paris, France, 2018. pp. 419–423.

Схема 1 – стандартная, рекомендованная при варроозе, изучена в I опытных группах (Краснодарский край, Дагестан). Испарители помещали в пчелиные семьи трехкратно через 7 дней, период использования муравьиной кислоты составил 21 день, всего было размещено в одну пчелиную семью 90 г муравьиной кислоты.

Схема 2 – отрабатываемая для лечения тропилелапсоза, изучена во II опытных группах (Краснодарский край, Дагестан). Испарители помещали в пчелиные семьи 5 раз через 4 дня, период использования муравьиной кислоты составил 20 дней, всего было размещено в одну пчелиную семью 150 г муравьиной кислоты.

Эффективность применения муравьиной кислоты при разных схемах оценивали по степени инфестации расплода. Оценку инфестации пчелиных семей проводили через 25, 45 и 60 дней после начала эксперимента. В период исследований учитывали температуру окружающего воздуха в 12 и 24 ч, что важно для контроля испарения кислоты.

Статистическая обработка. При оценке степени поражения пчелиного расплода тропилелапсозом рассчитан процент пораженных ячеек от 100 или количества вскрытых ячеек (не менее 100 шт.). Статистический анализ включал вычисление средней арифметической и стандартной ошибки, достоверность различий сравниваемых величин установлена с применением t-критерия Стьюдента при уровне значимости – P≤0,05; 0,01.

Результаты и их обсуждение. *Изучение интенсивности испарения муравьиной кислоты* (*85%-й*). При изучении интенсивности испарения муравьиной кислоты и постановки эксперимента по ее эффективности в пчелиных семьях были благоприятные погодные условия. В Краснодарском крае температура несущественно колебалась в течение суток, днем в среднем +20 °С, ночью +16 °С, без осадков. В Республике Дагестан в июне не отмечалось сильного колебания температуры окружающего воздуха – средняя температура днем – +25 °С, ночью – +21 °С, без осадков.

В первые трое суток испарение муравьиной кислоты было интенсивным на обеих пасеках: в Республике Дагестан – 100 %, в Краснодарском крае – 87,3±2,6 % от общего объема. Интенсивность испарения обусловлена оптимальной среднесуточной температурой в период наблюдений, без резких перепадов (рис. 1). На четвертые сутки количество испарившейся кислоты на пасеке Краснодарского края изменялось от 3,7 до 4,0 г, что было достоверно меньше предыдущих дней в 2 раза (P≤0,05).

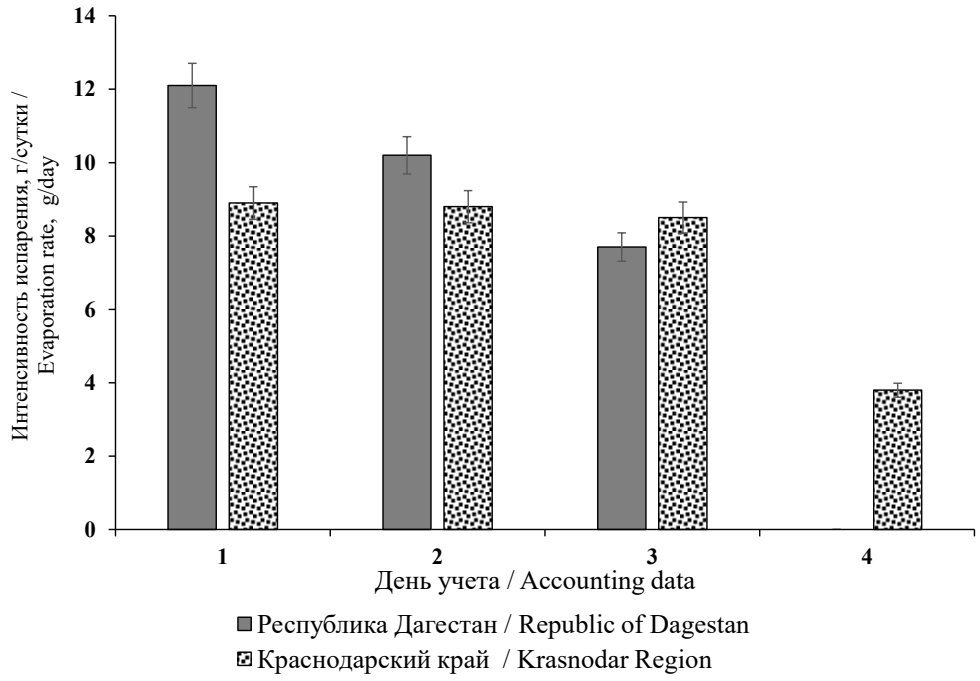


Рис. 1. **Средние значения (±SD) интенсивности испарения муравьиной кислоты (85%-й) в период эксперимента на пасеках Краснодарского края (май 2024 г.) и Республики Дагестан (июнь 2025 г.) (n = 5) /**

Fig. 1. **Average values (±SD) of formic acid (85%) evaporation intensity during the experimental period in apiaries of Krasnodar Region (May 2024) and the Republic of Dagestan (June 2025) (n = 5)**

На пятый день в испарителях не было муравьиной кислоты, соответственно терапевтическое воздействие на клещей отсутствовало. При использовании муравьиной кислоты при варроозе рекомендуется междозовый интервал 7 дней, но в проведенных исследованиях терапевтический эффект кислоты составил 3-4 дня. Учитывая, что у тропилелапса отсутствует период форезии, и на взрослых пчелах клещи находятся не более 1-2 дней, то вышедшие из ячеек печатного расплода особи в течение 3 дней вновь могут зайти в печатный расплод для дальнейшей репродукции. Полученные данные подтверждают ранее проведенные исследования об интенсивном испарении муравьиной кислоты и прекращении терапевтического эффекта на клещей варроа в условиях Южной Кореи, соответственно для сокращения количества клещей тропилелапса необходимо сокращать междозовый период [16].

Эффективность муравьиной кислоты (85%-й). Эффективность методов профилактики и лечения заболевания зависит от состояния пчелиных семей и степени поражения. Важно принять меры при появлении первых признаков инфестации пчелиных семей акарозами. Впервые проведено изучение изменения степени инфестации семей медоносных пчел при применении муравьиной кислоты на ранней стадии поражения с последующим изучением пост-эффекта в течение 60 дней.

Начало эксперимента на пасеках обусловлено первым появлением клещей тропилелапс в расплоде пчелиных семей. Клещ *Tropilaelaps* spp. на пасеке Краснодарского края обнаружен в первых числах мая 2024 г., на пасеке Республики Дагестан – в первой декаде июня 2025 г.

Ранее нами были изучены свойства препарата «Муравьинка» (85%-го), у которого выявлена способность снижать поражение пчелиных семей тропилелапсозом. Исследования проводили в период массового поражения пчелиных семей тропилелапсозом с разной степенью инфестации, где при лечении установлено снижение степени поражения сразу после проведения обработок, но спустя 60 дней клещ вновь был обнаружен со степенью поражения расплода более 25,1±3,56 % [20]. В настоящих исследованиях учтены полученные данные о влиянии муравьиной кислоты на пчелиные семьи при снижении температуры ночью до +6…+8 °С, когда рабочие особи в семьях начинают сокращать гнездо для поддержания внутриульевой температуры, и пары кислоты в этот период летально влияют на взрослых пчел. При температуре выше +30 °С интенсивность испарения кислоты увеличивается, что также оказывает летальный эффект на пчел и открытый расплод [21]. Показатели эффективности и отрицательного влияния на медоносных пчел муравьиной кислоты в разных природно-климатических и медосборных условиях существенно отличаются в исследованиях, проведенных в Китае и Южной Корее, где отмечается негативное воздействие муравьиной кислоты на сокращение количества взрослых пчел [22, 23].

Эффективность применения муравьиной кислоты в пчелиных семьях оценивали по степени инфестации печатного расплода после удаления испарителей во всех опытных группах согласно схемам, представленным в таблице 1.

На пасеке в условиях Краснодарского края низкая степень поражения расплода через 25 дней после начала эксперимента зафиксирована во II опытной группе, слабая степень поражения в семьях данной группы сохранялась в течение последующих 60 дней (табл. 2).

Таблица 2 – **Влияние муравьиной кислоты (85%-й) на степень инфестации тропилелапсозом пчелиных семей в Краснодарском крае (2024 г., n = 8) /**
Table 2 – **The effect of formic acid (85%) on the Tropilaelaps infestation rate in honey bee colonies in the Krasnodar Region (2024, n = 8)**

Группа / Group	*Начало эксперимента) / Beginning of the experiment (1 мая / 1 May)*	*Учет через / Accounting via*		
		25 дней / 25 days (26 мая /26 May)	*45 дней /45 days (16 июня /16 June)*	*60 дней / 60 days (2 июля / 2 July)*
I опытная / I Experimental	18,50±0,09	2,30±0,05*	12,70±0,05*	19,60±0,46*
II опытная / II Experimental	19,70±0,13	0,01±0,001*	1,20±0,03*	5,10±0,21*
Контрольная / Control	18,30±0,08	28,90±0,86	38,30±2,56	65,60±6,45

*P≤0,01 по отношению к контролю / *P<0.01 relative to the control

Степень инфестации во II опытной группе достоверно ниже, чем в I опытной группе и контрольной (P≤ 0,01), причем через 60 дней разница также была достоверной по сравнению с I опытной группой в 3,8 раза, контрольной – в 12,9 раза (P≤0,01). В I опытной группе спустя 60 дней степень инфестации расплода восстановилась до уровня начала эксперимента. В контрольной группе степень инфестации за 60 дней достоверно увеличилась в 3,6 раза (P≤ 0,01).

Экспериментальные данные, полученные в 2025 г. на пасеке в Республике Дагестан (табл. 3), подтвердили результаты исследований 2024 г., на пасеке Краснодарского края. Пчелиные семьи II опытной группы имели достоверно низкую степень инфестации печатного расплода по сравнению с I опытной и контрольной группами в течение всего периода исследования (P≤0,01). Пчелиные семьи II опытной группы через 60 дней имели степень инфестации расплода достоверно ниже по сравнению с I опытной группой в 2,7 раза и с контрольной – в 11,1 раза (P≤0,01). Применение муравьиной кислоты по схеме, разработанной для варрооза (I опытная группа), позволило снизить степень инфестации расплода по сравнению с пчелиными семьями контрольной группы в 27,2 раза на 25-ый день и в 4,1 раза – через 60 дней (P≤0,01).

Таблица 3 – **Влияние муравьиной кислоты (85%-й) на степень инфестации тропилелапсозом пчелиных семей в Республике Дагестан (2025 г.) (n = 8) /**
Table 3 – **Effect of formic acid (85%) on the Tropilaelaps infestation rate in honey bee colonies in the Republic of Dagestan (2025) (n = 8)**

Группа / Group	*Начало эксперимента) / Beginning of the experiment (15 июня / 15 June*	*Учет через / Accounting via*		
		25 дней / 25 days (10 июля / 10 July)	*45 дней / 45 days (30 июля / 30 July)*	*60 дней / 60 days (15 августа / 15 August)*
I опытная / I Experimental	12,70±0,05	0,80±0,01*	5,70±0,04*	10,90±0,56*
II опытная / II Experimental	9,70±0,03	0,20±0,002*	1,20±0,03*	4,10±0,21*
Контрольная / Control	8,30±0,08	21,80±0,56	38,30±2,56	45,60±4,45

* P≤0,01 по отношению к контролю / *P<0.01 relative to the control.

Эффективность проведения обработок пчелиных семей оценивали по состоянию расплода, высокий процент эффективности отмечен сразу после окончания обработок и составил во всех опытных группах от 87,6 до 99 %. Высокая эффективность в снижении степени инфестации тропилелапсозом в пчелиных семьях установлена при 5-кратном размещении испарителей с муравьиной кислотой с интервалом в 4 дня во II опытных группах Краснодарского края и Республики Дагестан (рис. 2). В пчелиных семьях этих групп эффективность обработок через 60 дней была выше 60 %. В I опытной группе Дагестана через 60 дней эффективность снизилась в 6,6 раза и составила 14,1 %. В I опытной Краснодарского края эффективность снизилась через 45 дней и составила 31,4 %, а спустя 60 дней в семьях отмечено увеличение степени поражения расплода на 1,1 % по сравнению с началом эксперимента.

Установлено, что схема применения муравьиной кислоты, разработанная для профилактики и лечения варрооза в семьях медоносных пчел, пораженных тропилелапсозом, не является высокоэффективной. При выборе способа применения препарата необходимо учитывать биологические особенности клещей *Tropilaelaps mersedesae*, которые преимущественно находятся в печатном расплоде, важно учитывать пролонгированное действие химических веществ, используемых для лечения пчелиных семей. В отличие от клеща варроа тропилелапс быстро увеличивает популяцию внутри гнезда медоносных пчел, в контрольных группах пчелиных семей, без проведения обработок, степень инфестации расплода за 60 дней достоверно увеличилась на пасеках в 3,6 раза (Краснодарский край) и в 5,5 раза (Республика Дагестан) (P≤0,05). Использование муравьиной кислоты по отработанной схеме на обеих пасеках способствовало сокращению степени инфестации пчелиных семей, в которых через 60 дней сохранился низкий уровень поражения расплода 5,1±0,21 % (II опытная Краснодар) и 4,1±0,21 % (II опытная Дагестан), что подтверждает высокий пролонгированный пост-эффект обработок.

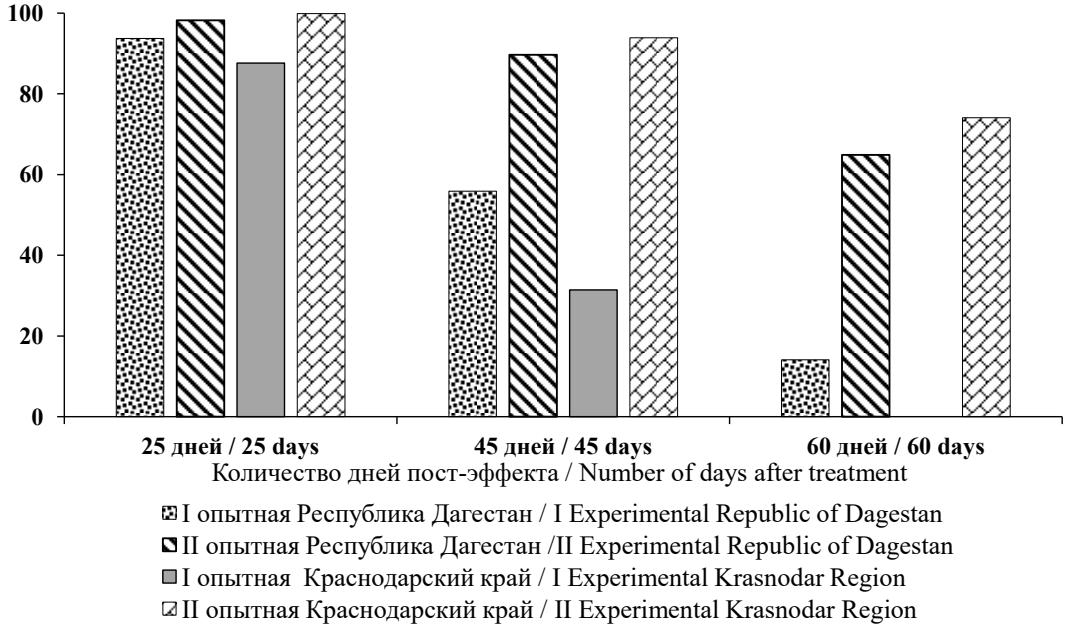


Рис. 2. **Эффективность использования муравьиной кислоты в экспериментальных группах Республики Дагестан и Краснодарского края /**

Fig. 2. **Effectiveness of using formic acid in experimental groups Republic of Dagestan and Krasnodar Region**

Выводы. 1. Интенсивность испарения муравьиной кислоты (85%-й) в условиях температуры окружающего воздуха от +16 до +27 °С составляет 80–100 % в течение 3 дней, в результате в гнезде пчелиной семьи формируется период, когда отсутствует терапевтический эффект препарата. Учитывая биологические особенности клеща *Tropilaelaps mersedesae*, который преимущественно находится в печатном расплоде, особи, вышедшие из ячеек в данный период, не погибают, а вновь могут приступать к репродукции.

2. Эффективность применения муравьиной кислоты в начальной стадии поражения пчелиных семей тропилелапсозом увеличивается при 5-кратном использовании испарителей с интервалом в 4 дня, что позволяет достоверно снизить степень поражения расплода через 60 дней в 2,7–3,8 раза (P≤0,01) по сравнению с пчелиными семьями, подвергающимися обработке муравьиной кислотой по стандартной схеме (при 3-кратном использовании испарителей с интервалом в 7 дней).

Рекомендации. На пасеках, имеющих пораженные тропилелапсозом пчелиные семьи, важно выделять периоды, когда клещ исчезает в пчелиных семьях, лечебно-профилактические обработки пчелиных семей проводить в начальной стадии поражения расплода, что позволит повысить терапевтический эффект использования муравьиной кислоты в количестве 30 г на одну дозу, по схеме 5 раз с междозным интервалом в 4 дня.

Reference

1. Khalifa S. A. M., Elshafiey E. H., Shetaia A. A., El-Wahed A. A. A., Algethami A. F., Musharraf S. G. et al. Overview of Bee Pollination and Its Economic Value for Crop Production. Insects. 2021;12(8):688. DOI: https://doi.org/10.3390/insects12080688

2. Gray A., Adjlane N., Arab A., Ballis A., Brusbardis V., Douglas A. B. et al. Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019– 2020: the combined effects of operation size, migration and queen replacement. Journal of Apicultural Research. 2023;62(2):204–210. DOI: https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2113329

3. Nganso B. T., Ayalew W., Wubie A. J., Assefa F., Belayhun L., Ndungu N. N. et al. Honey bee colony losses and causes during the active beekeeping season 2022/2023 in nine Sub-Saharan African countries. PLoS ONE. 2025;20(5):e0322489. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322489

4. Hristov P., Shumkova R., Palova N., Neov B. Honey bee colony losses: Why are honey bees disappearing? Sociobiology. 2021;68(1):e5851. DOI: https://doi.org/10.13102/sociobiology.v68i1.5851

5. Khongphinitbunjong K., de Guzman L. I., Tarver M. R., Rinderer T. E., Chantawannakul P. Interactions of *Tropilaelaps mercedesae*, honey bee viruses and immune response in *Apis mellifera*. Journal of Apicultural Research. 2015;54(1):40–47. DOI: https://doi.org/10.1080/00218839.2015.1041311

6. Khongphinitbunjong K., Chantawannakul P., Yañez O., Neumann P. 2019. Survival of Ectoparasitic Mites *Tropilaelaps* mercedesae in Association with Honey Bee Hive Products. Insects. 2019;10(2):36. DOI: https://doi.org/10.3390/insects10020036

7. Gill M. C., Chuttong B., Davies P., Etheridge D., Panyaraksa L., Tomkies V. et al. Assessment of the efficacy of field and laboratory methods for the detection of *Tropilaelaps* spp. PLoS ONE. 2024;19(9):e0301880. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301880

8. De Guzman L. I., Williams G. R., Khongphinitbunjong K., Chantawannakul P. Ecology, Life History, and Management of Tropilaelaps Mites. Journal of Economic Entomology. 2017;110(2):319–332. DOI: https://doi.org/10.1093/jee/tow304

9. Pettis J. S., Rose R., Chaimanee V. Chemical and cultural control of Tropilaelaps mercedesae mites in honeybee (*Apis mellifera*) colonies in Northern Thailand. PLoS ONE. 2017;12(11):e0188063. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188063

10. Bertola M., Mutinelli F. Sensitivity and Resistance of Parasitic Mites (*Varroa destructor*, *Tropilaelaps* spp. and *Acarapis woodi*) Against Amitraz and Amitraz-Based Product Treatment: A Systematic Review. Insects. 2025;16(3):234. DOI: https://doi.org/10.3390/insects16030234

11. Mahmood R., Wagchore E. S., Raja Sh., Sarwar G., Asam M. Effect of Thimol and Formic Acid Against Ectoparasitic Brood Mite Tropilaelaps Clareae in Apis mellifera Colonies. Pakistan Journal of Zoology. 2011;43(1):91–95. URL: https://www.academia.edu/35167437/Effect_of_Thymol_and_Formic_Acid_Against_Ectoparasitic_Brood_Mite_Tropilaelaps_clareae_in_Apis_mellifera_Colonies

12. Zheng H., Cao L., Huang S., Neumann P., Hu F. Current Status of the Beekeeping Industry in China. In: Chantawannakul P., Williams G., Neumann P. (eds). Asian Beekeeping in the 21st Century. Springer, Singapore, 2018. pp. 129–158. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-8222-1_6

13. Bertola M., Mutinelli F. Sensitivity and Resistance of Parasitic Mites (*Varroa destructor*, *Tropilaelaps* spp. and *Acarapis woodi*) Against Amitraz and Amitraz-Based Product Treatment: A Systematic Review. Insects. 2025;16(3):234. DOI: https://doi.org/10.3390/insects16030234

14. Hosamani R. K., Gulati R., Sharma S. K., Kumar R. Efficacy of some botanicals against ectoparasitic mite, Tropilaelaps clareae (Acari: Laelapidae) in Apis mellifera colonies. Systematic and Applied Acarology. 2007;12(2):99. DOI: https://doi.org/10.11158/saa.12.2.2 https://www.sci-hub.ru/10.11158/saa.12.2.2

15. Topal E., Cıpcıgan M. C., Tunca R. İ., Kösoğlu M., Mărgăoan R. The use of medicinal aromatic plants against bee diseases and pests. Bee Studies. 2020;12(1):5–11. DOI: https://doi.org/10.51458/BSTD.2021.2

16. Пробаско Д., Ахумада Ф., Шантц Л. Композиции и способы борьбы с паразитическим клещом Tropilaelaps: заявка на изобретение № 214148971 Российская Федерация. Заявл. 07.06.2013; опубл. 10.08.2016. Бюл. №22. 3 с. Режим доступа: https://patents.google.com/patent/RU2014148971A/ru

Probasco J., Ahumada F., Shantz L. Compositions and methods of combating the parasitic mite Tropilaelaps: Application for invention No. RU 214148971. 2016. URL: https://patents.google.com/patent/RU2014148971A/ru

17. Raffique M. K., Mahmood R., Aslam M., Sarwar G. Control of Tropilaelaps clareae Mite by Using Formic Acid and Thymol in Honey Bee Apis mellifera L. Colonies. Pakistan Journal of Zoology. 2012;44(4):1129–1135. URL: https://www.researchgate.net/publication/235363132_Control_of_Tropilaelaps_clareae_Mite_by_Using_Formic_Acid_and_Thymol_in_Honey_Bee_Apis_mellifera_L_Colonies

18. Islam N., Amjad M., Haq E., Stephen E., Naz F. Efficacy of essential oils and formic acid in the management of Tropilaelaps clareae in *Apis mellifera* Linnaeus colonies in relation to honey production. Pakistan Journal of Agricultural Research. 2017;30(2):194–201. DOI: http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2017/30.2.194.201

19. Sarwar G. Control of Tropilaelaps Clareae Mite by Using Formic Acid and Thymol in Honey Bee *Apis Mellifera* L. Colonies. Pakistan Journal of Zoology. 2012;44(4):1129–1135. URL: https://www.academia.edu/29252866/Control_of_Tropilaelaps_clareae_Mite_by_Using_Formic_Acid_and_Thymol_in_Honey_Bee_Apis_mellifera_L_Colonies

20. Брандорф А. З., Сохликов А. Б. Тропилелапсоз пчел – новая угроза российскому пчеловодству. Российский журнал. Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». 2023;(2(46)):217–226. DOI: https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202302014 EDN: GZRDMU

Brandorf A. Z., Sokhlikov A. B. Tropilelapsosis of bees – a new threat to russian beekeeping. *Rossiysky zhurnal «Problemi veterinarnoy sanitarii, gigieni i ekologiI»* = Russian Journal «Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology». 2023;(2(46)):217–226 (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202302014

21. Oh D., Choi Y.-S., Kim D., Kim K.-W., Kim K.-M., Njukang A. P. et al. Evaluation of Vaporization Amount of Formic Acid in Different Conditions for Controlling Honeybee Mites. Journal of Apiculture. 2023;38(1):11–20. DOI: https://doi.org/10.17519/apiculture.2023.04.38.1.11

22. Tokach R., Chuttong B., Aurell D., Panyaraksa L., Williams G. R. Managing the Parasitic Honey Bee Mite *Tropilaelaps mercedesae* Through Combined Cultural and Chemical Control Methods. Scientific Reports. 2024;14:25677. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-76185-4

23. Thongsawang T., Rueangsom P., Boonyo K., Wongphruksasoong V., Suphanchaimat R. Situation Analysis of Varroosis and Tropilaelaps Infestation of Honeybees in Thailand, 2017-2018. Veterinary Medicine: Research and Reports. 2021;(12):169–176. DOI: https://doi.org/10.2147/VMRR.S306658

Сведения об авторах

✉ **Брандорф Анна Зиновьевна**, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории пчеловодства, 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/0000-0003-0535-6578, e-mail: Apis_mellifera_mellifera_L@mail.ru

Злобина Юлия Александровна, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологических методов селекции сельскохозяйственных растений, 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/0000-0002-0949-1403

Дягилева Елена Васильевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, 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/0000-0003-2870-2269

Information about the author

✉ **Anna Z. Brandorf**, DSc in Agriculture, leading researcher, the Laboratory of Beekeeping, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky,166-a Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0535-6578**,
e-mail: Apis_mellifera_mellifera_L@mail.ru

Yulia A. Zlobina, junior researcher, the Laboratory of Biotechnological Methods of Agricultural Plant Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky,166-a Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0949-1403**

Elena V. Diaghileva, junior researcher, the Laboratory of Molecular Biology and Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky,166-a Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2870-2269**

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗВЕРОВОДСТВО. ОХОТОВЕДЕНИЕ/ FUR FARMING AND HUNTING

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.208–218
УДК 639.1:349.6:342.951

(cc) BY

Трансформация института государственного регулирования и обеспечение устойчивости охотничьего природопользования

© 2026. И. А. Гребнев[1,2,3] ✉
[1]*ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация*
[2]*ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Российская Федерация,*
[3]*АНО «Институт природоресурсного и экологического права», г. Киров, Российская Федерация*

В статье представлены результаты исследований особенностей и динамики институциональной среды охотничьего природопользования под влиянием государственного регулирующего воздействия в период с 1995 года по настоящее время. В ходе работы были выделены и проанализированы ключевые для рассматриваемой сферы деятельности элементы институциональной среды. Установлены этапы государственного регулирования охоты и охотничьего хозяйства в постсоветстком периоде, определены их ключевые параметры. Показано, что на первом этапе в законодательство имплементировались некоторые прогрессивные по своей сути институты, но в силу ряда объективных и субъективных причин они были существенно редуцированы на втором этапе. Отмечено, что результатом такой трансформации стало возникновение и усугубление комплекса отраслевых проблем. В частности, несмотря на реализуемые государством меры, численность важнейших видов диких копытных животных остается в 6 раз меньше той, которая отвечает экологической емкости их местообитаний. Среди других острых и нерешаемых проблем – браконьерство, неэффективность нормативных инструментов изъятия инвазивных видов, массовая гибель охотничьих животных от агрохимикатов, незащищенность прав охотпользователей. Сделаны выводы о невозможности при существующей модели государственного регулирования обеспечить устойчивость охотничьего природопользования и целесообразности изменения траектории отраслевого развития. Обоснована необходимость перехода к новому этапу публичного администрирования на принципах децентрализации и субсидиарности государственных полномочий, саморегулирования, конкурентности, гласности, широкого общественного и профессионального участия. При этом должно произойти существенное изменение роли и значения органов государственного управления охотой и сохранением охотничьих ресурсов.

Ключевые слова: *охота, институциональная среда, государственные полномочия, институт охотничьего гарантирования, формы торгов, закрепление охотугодий, модели согласования интересов*

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.
Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Гребнев И. А. Трансформация института государственного регулирования и обеспечение устойчивости охотничьего природопользования. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):208–218.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.208-218

Поступила: 24.03.2025 Принята к публикации: 19.02.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Transformation of the institution of state regulation and ensuring the sustainability of hunting nature management

© 2026. Ivan A. Grebnev[1, 2, 3]✉
[1]*Vyatka State University, Kirov, Russian Federation,*
[2]*Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russian Federation,*
[3]*Institute of Natural Resource and Environmental Law, Kirov, Russian Federation*

This article presents the results of a study examining the characteristics and dynamics of the institutional environment for hunting management under the influence of state regulation from 1995 to the present. Key elements of the institutional environment for this area of activity were identified and analyzed. The stages of state regulation of hunting and game management in the post-Soviet period are identified, and their key parameters are defined. It is shown that, during the first stage, some fundamentally progressive institutions were implemented into legislation, but due to a number of objective and subjective factors, they were significantly reduced in the second stage. It is noted that this transformation resulted in the emergence and exacerbation of a range of industry-specific problems. In particular, despite government measures, the population of the most important species of wild ungulates remains six times lower than the ecological carrying capacity of their habitats. Other

pressing and unresolved issues include poaching, the ineffectiveness of regulatory instruments for the removal of invasive species, the mass mortality of game animals from agrochemicals, and the lack of protection for hunting users' rights. Conclusions are drawn regarding the impossibility of ensuring the sustainability of hunting management under the current model of state regulation and the advisability of changing the trajectory of the industry's development. The need for a transition to a new stage of public administration based on the principles of decentralization and subsidiarity of state powers, self-regulation, competition, transparency, and broad public and professional participation is substantiated. This should also involve a significant change in the role and importance of state bodies governing hunting and the conservation of hunting resources.

Keywords: hunting, institutional environment, state powers, institute of hunting guarantees, forms of trade, assignment of hunting grounds, models of interest coordination

Acknowledgments: the research was carried out without financial support within initiative theme.
The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citations: Grebnev I. A. Transformation of the institution of state regulation and ensuring the sustainability of hunting nature management. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):208–218. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.208-218

Received: 24.03.2025 Accepted for publication: 19.02.2026 Published online: 27.02.2026

Охотничье природопользование в современной России остается важным социально-экологическим феноменом. Значение данного вида деятельности существенно возрастает в условиях усиливающегося санкционного давления, ставя перед отраслевым природопользованием задачи повышения эффективности использования природных, трудовых, материальных и иных ресурсов, оптимизации существующих внутри- и межотраслевых отношений.

Учитывая значимость охоты и охотхозяйственной деятельности, их несомненные положительные эффекты как для публичной, так и частной сфер жизни и деятельности российского общества, а также труднозаменимость иными средствами и практиками, федеральным законодателем закреплен принцип деятельности в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов – обеспечение устойчивого существования и устойчивого использования охотничьих ресурсов, сохранение их биологического разнообразия[1]. Отметим, что названный принцип поставлен на первое место в числе важнейших писаных принципов национального охотничьего законодательства, поскольку имеет системообразующее значение. Его содержание заключается в необходимости сформировать и реализовать такую систему использования объектов охоты, которая не приведет в долгосрочной перспективе к истощению биологического разнообразия охотничьих видов и при которой сохранится их способность к воспроизводству и существованию в течение неопределенно длительного времени. Сегодня достижение устойчивого существования охотничьих животных и обеспечение их биологического разнообразия возможно только при условии функционирования эффективной системы охотпользования.

Однако отраслевые акты стратегического планирования[2] характеризуют российское охотпользование как в высокой степени экстенсивное, в развитии которого преобладают инерционность и консервативные методы работы. Отмечается, в частности, что темпы прироста важнейших видов диких копытных животных не соответствуют их биологической продуктивности, составляя 1–3 % в год, а экологическая емкость их местообитаний позволяет увеличить численность в 6 раз. При этом реализуемые в последние десятилетия государством меры по изменению ситуации в отрасли оказываются неэффективными [1].

Многочисленные исследования [2, 3, 4] показывают, что охотничье хозяйство России на протяжении постсоветского периода находится в состоянии затяжного кризиса, а его системообразующие институты характеризуются дисфункциональностью, что порождает негативные социально-экологические эффекты, такие как браконьерство, массовая гибель животных от нарушения технологий и норм

[1]Федеральный закон от 24.07.2009 № 209-ФЗ «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Статья 2. СПС «Консультант плюс». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_89923/

[2]См., например, Стратегия развития охотничьего хозяйства в Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 03.07.2014 № 1216-р. [Электронный ресурс]. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70588184/ (дата обращения: 10.02.2025); Концепция развития охотничьего хозяйства Кировской области на период до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства Кировской области от 17.08.2010 № 295. [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/561785661 (дата обращения: 10.02.2025).

в сельском и лесном хозяйстве, неэффективность регуляционных мероприятий, неосвоение квот и норм добычи и другие, ставящие под угрозу устойчивость как экологических систем, так и связанных с ними социально-экономических отношений. Поскольку сформированная модель охотхозяйственных отношений и соответствующая институциональная среда являются результатом прежде всего государственного регламентирующего воздействия путем создания ограничений, дозволений и предписаний, формирования соответствующих стимулов поведения субъектов, актуальным и своевременным представляется анализ данного института.

Цель исследования – рассмотрение динамики и особенностей современного института государственного регулирования для оценки устойчивости охотничьего природопользования и определения перспектив повышения эффективности данного вида деятельности.

Научная новизна работы:

- приложение институциональной теории к отношениям в сфере охотничьего природопользования и проведение анализа причинно-следственных связей, формирующих своеобразие и динамику моделей этих отношений, их устойчивости;

- выделение этапов государственного регулирования охотничьего природопользования в постсоветском периоде, определение их ключевых особенностей.

Материал и методы. Методология работы основана на эмпирическом и междисциплинарном подходах. В ходе исследований были применены следующие научные методы: аналитический, который позволил изучить практику регламентации вопросов организации охотничьего природопользования на разных этапах постсоветского периода; формально-юридический, позволивший раскрыть системные связи в нормативном регулировании, регулятивные особенности актов публичной власти, правоприменительную практику в рассматриваемый период. Информация была получена из актов государственных органов нормативного и ненормативного характера, научных публикаций, отчетов и статистических материалов, материалов научных конференций, посвященных организации охоты и сохранения охотничьих ресурсов. Обширное интернет-исследование, проведенное с использованием сервисов Яндекса, Google Scholar и eLIBRARY.RU, заключалось в целенаправленном поиске по ключевым словам и их сочетаниям. Исследованием охвачен временной период с 1995 г. до настоящего времени.

Результаты и их обсуждение. Для создания эффективной системы природопользования необходим соответствующий комплекс институтов (формальных и неформальных правил), формирующих стимулы и рамки дозволенного поведения отдельных субъектов и их объединений. Дуглас Норт, один из основоположников современной институциональной теории, указывает, что институты «направляют человеческое взаимодействие в определенное русло» [5, с. 10]. На основе таких правил складываются практики повседневного действия. Совокупность институтов образует институциональную среду, под которой понимается «совокупность фундаментальных политических, социальных, экономических, административных правил, образующих своего рода базис для производства, обмена и распределения» [6, с. 7].

Системообразующей основой институциональной среды выступают отношения собственности [7], которые вкупе с иными институтами (государство, рынок, рента и т. д.) формируют сложную систему владения, пользования и распоряжения ресурсами. Эффективность этой системы определяется как факторами общей институциональной среды (известная степень политической централизации и плюрализма, беспристрастная система правосудия, защита экономических прав и недопустимость дискриминации, гарантии доступа к информации и независимости СМИ, свободный рынок труда), так и реализуемой моделью распределения и эксплуатации ресурсов, в том числе и природных.

Важнейшую роль в формировании российского охотничьего природопользования традиционно играет государство. Институциональная теория рассматривает государство как организацию, и как институт. Дуглас Норт предлагает технологичный подход к понятию государства, под которым он понимает группу индивидов, формирующих нацию (страну, народ), объединенную общими целями (выживание, хозяйствование, защита суверенитета и др.) и внутренними соглашениями (нормами) в определенных внешних условиях [8].

Вопрос о пределах государственного вмешательства в хозяйственную жизнь общества и степени вовлеченности институтов гражданского общества в процессы принятия политических и управленческих решений остается крайне дискуссионным.

Известный американский социолог, философ Ф. Фукуяма подверг критике «слабые (с минимальным влиянием на гражданское общество), некомпетентные и несуществующие правительства, являющиеся причиной серьезных проблем, влияющих на общественное благосостояние» [9, с. 19-20]. Однако Дж. Ходжсон отметил, что «при развитии гражданского общества, расширении прав собственности государственное вмешательство фокусируется на сферах правоохранительной деятельности и судебной власти, увеличивая их авторитет и влияние» [10, с. 227-228].

Лауреаты Нобелевской премии по экономике 2024 года Д. Аджемоглу и Д. Робинсон популяризировали концепцию «широких институциональных рамок» и выдвинули теорию, согласно которой инклюзивные политические и экономические институты посредством поощрения участия широких слоев населения в экономической и политической деятельности и гарантирования прав собственности, верховенства закона, равенства возможностей создают условия для экономического роста. Кроме того, непременными условиями позитивной экономической динамики указанные авторы считают справедливое распределение выгод от использования ресурсов, расширение интересов социальных групп и адекватное распределение власти и ответственности в соответствующих сферах и в государстве в целом [11].

Таким образом, система охотничьего природопользования может быть определена как совокупность внешних и внутренних норм, ограничений и стимулов, в результате действия которых формируются и реализуются отношения по поводу владения, пользования и распоряжения охотничьими ресурсами. Соотношение действующих элементов институциональной среды определяет модель и уровень эффективности системы охотпользования.

Для оценки сформированной институциональной среды и ее динамики в современной России в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов мы проведем анализ ключевых отраслевых институтов, «качество» которых, как показано в литературе [12], влияет на их эффективность, и следовательно, возможность достижения основной цели – устойчивого использования охотничьих ресурсов.

Государственное регулирование охоты и охотничьего хозяйства в постсоветский период осуществлялось разным законодательством (общим фаунистическим, прежде всего Федеральным законом от 24.04.1995 № 52-ФЗ «О животном мире» (ФЗ № 52)[3], и специальным охотничьим – Федеральным законом от 24.07.2009 № 209-ФЗ «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (ФЗ № 209)[4]), которое существенно различалось по ключевым характеристикам. Сопоставление последних позволит нам получить представление о динамике институциональной среды в охотничьем природопользовании.

Распределение государственных полномочий. Вопросы формирования и реализации государственной политики, распределения и осуществления государственных полномочий в рассматриваемой сфере деятельности неоднократно становились предметом научного исследования [13, 14]. Нашей задачей является определение степени централизации государственных полномочий в контексте трансформации административного регулирующего воздействия и взаимосвязи с динамикой отраслевой институциональной среды.

Первоначальная редакция статьи 5 ФЗ № 52 включала 20 полномочий и групп полномочий органов государственной власти Российской Федерации, а статья 6 ФЗ № 52 – 16 полномочий и групп полномочий органов государственной власти субъектов Российской Федерации. Анализ содержания государственных полномочий показывает их умеренную централизацию с наделением субъектов РФ значительным объемом правовых средств и ответственности в рассматриваемой сфере. Государственные органы Российской Федерации определяли концептуальные и методические подходы по развитию отрасли, закрепляли общие для страны цели, задачи, принципы, механизмы реализации социально-экономических и экологических задач. Органы субъектов Российской Федерации в рамках единых федеральных правил и с учетом региональных особенностей устанавливали территориальные

[3]Федеральный закон от 24.04.1995 № 52-ФЗ «О животном мире». СПС «Консультант плюс». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6542/

[4]Федеральный закон от 24.07.2009 № 209-ФЗ «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». СПС «Консультант плюс». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_89923/

параметры природопользования, создавали инструменты координации и согласования интересов пользователей природными ресурсами, выступали арбитром в решении споров хозяйствующих субъектов.

В связи с проводимой административной реформой и принятием Федерального закона от 29.12.2006 № 258-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с совершенствованием разграничения полномочий»[5] был определен принципиально иной подход, согласно которому все государственные полномочия в рассматриваемой сфере были разделены на 3 группы: Российской Федерации; Российской Федерации, переданные для исполнения субъектам Российской Федерации; субъектов Российской Федерации.

Принятым 24.07.2009 ФЗ № 209 был закреплен и развит новый подход. В результате произошла практически предельная централизация властных полномочий в ведении федеральных государственных органов, которые в настоящее время регламентируют (или должны это делать) широкий круг общественных охотничьих отношений, начиная от определения государственной политики и заканчивая установлением нормативов биотехнических мероприятий. При этом полномочия органов государственной власти субъектов Российской Федерации сокращены до 5 собственных полномочий и групп полномочий (ст. 34 ФЗ № 209), дополняемых еще 3 собственными полномочиями, касающимися охраны и использования объектов животного мира и среды их обитания (ст. 6.1 ФЗ № 52).

Отметим, что несмотря на наличие у региональных органов некоторого объема собственных полномочий большинство из них осуществляются по правилам, установленным на федеральном уровне. При этом по прошествии 15 лет с момента принятия ФЗ № 209 для многих специалистов в области охотничьего хозяйства стала очевидной ошибочность такого подхода в силу невозможности полноценной реализации значительной части полномочий федеральными органами. Тем самым нарушен основополагающий принцип распределения публичных полномочий – субсидиарности, предполагающий зависимость объема полномочий от способности их эффективной реализации на самом низком возможном уровне [15]. В настоящее время центры принятия большинства отраслевых решений расположены на противоположном конце оси властной вертикали от адресата регулирующего воздействия. В условиях недостаточной обоснованности, отсутствия корректно работающих механизмов обратной связи, контроля и принуждения к исполнению принятых решений создается угроза их делегитимизации, результатом которой становятся игнорирование или протестное нарушение властных предписаний. Последствия для отрасли выражаются в фактической экспроприации произведенного продукта (охотничьих ресурсов) у хозяйствующих субъектов браконьерами и подрыве их экономической базы, блокировании частной инициативы по повышению собственной компетентности, внедрению организационных и технологических инноваций; расширению спектра и количества производимых общественных благ. Создаются условия для искусственной консервации материально-технологической, экономической, организационной, культурной отсталости.

Формирование охотничьих угодий и согласование условий пользования земельными и лесными участками. Статья 37 ФЗ № 52 закрепляла заявительный порядок формирования охотничьих угодий. Сущность такого порядка заключалась в следующем: лицо, изъявившее желание взять в долгосрочное пользование объекты животного мира, указывало в соответствующей заявке границы и площадь территорий, необходимых для пользования животным миром, прикладывало экологическое обоснование. Специально уполномоченный орган государственной власти субъекта РФ по охране, контролю и регулированию использования объектов животного мира и среды их обитания готовил заключение о возможности предоставления данной территории, согласовывал с собственниками земель, землевладельцами, владельцами лесного фонда на указанной территории, со специально уполномоченным государственным органом управления и использования водного фонда условия предоставления этой территории. Согласованные условия вносились в долгосрочную лицензию на пользование животным миром, выдаваемую после принятия решения о предоставлении территории органом исполнительной власти

[5]Федеральный закон от 29.12.2006 № 258-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с совершенствованием разграничения полномочий». СПС «Консультант плюс». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64874/

субъекта РФ. На основании согласования орган исполнительной власти субъекта РФ и охотпользователь заключали договор о предоставлении территории для пользования животным миром.

Современный порядок, установленный ФЗ № 209, предусматривает формирование вновь создаваемых охотничьих угодий при разработке региональным уполномоченным органом исполнительной власти схемы размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории субъекта Российской Федерации. Порядок составления данного документа[6] не предполагает участия потенциальных арендаторов, общественности и представителей органов местного самоуправления в его подготовке, проведении профессиональной и (или) общественной экспертизы, опубликования для ознакомления проекта, предполагаемого к утверждению.

Анализ процедуры формирования охотничьих угодий показывает, что произошло ее качественное преобразование: заявительный порядок, предусмотренный ФЗ № 52, заменен распределительным порядком, установленным ФЗ № 209. Сущность произошедшей трансформации заключается в изменении двух ключевых элементов процедуры: инициатора формирования угодий и способа определения условий включения земельных и лесных участков в состав охотничьих угодий.

Необходимость замены инициатора обусловлена объективной потребностью оптимизации количественных и качественных параметров охотничьих угодий на территории субъекта Российской Федерации и системы управления ими. Потенциальные арендаторы выбирали наиболее ценные с охотхозяйственной точки зрения территории, отказываясь при этом от менее продуктивных и труднодоступных, что являлось одной из важных причин возникновения социальных противоречий, дисбаланса в экосистемах, снижения качества государственного управления в данной сфере. Предшествующее законодательство не предусматривало действенных инструментов коррекции состава и структуры предлагаемых к закреплению охотничьих угодий со стороны органов публичного управления. Однако действующая модель лишена существенного достоинства предыдущей – возможности реализации хозяйственной инициативы и учета потребностей потенциальных арендаторов, что снижает ценность угодий и конкуренцию в сфере деятельности. Рассмотренные модели формирования охотничьих угодий являются противоположными по своей сути, отражают частноправовой и административно-правовой подходы при регулировании соответствующих отношений без компенсирующих элементов, что обусловливает их неэффективность и необходимость коррекции. Полагаем целесообразным переход к смешанной модели формирования охотничьих угодий, при которой будут нормативно определены и закреплены процедуры и формы участия, способы учета и согласования интересов всех заинтересованных лиц.

При формировании охотничьих угодий чрезвычайно важное значение имеют условия включения в них земельных (в т. ч. водопокрытых), лесных участков и порядок определения условий использования. ФЗ № 52 закреплялась договорная модель, предполагавшая согласование условий пользования земельными и лесными участками со всеми правообладателями. Недостаток этой модели заключался в том, что государство предоставляло сторонам (охотпользователю и правообладателям земельных и лесных участков) полную свободу договора, при этом никак не гарантируя реализацию права пользования охотничьими животными. В результате нередкими являлись случаи недостижения согласия между сторонами об условиях пользования и, как следствие, невозможности реализации права охотпользования, даже если лицо являлось победителем торгов. Стремление устранить данный дефект регулирования привело федерального законодателя к другой крайности – игнорированию интересов земле- и лесопользователей посредством установления в административном порядке ограничений прав на землю частных лиц (публичный земельный сервитут, ст. 26 ФЗ № 209) и закрепления многоцелевого использования участков лесного фонда. Результатом внедрения административной модели взаимодействия между заинтересованными субъектами является возрастание числа и интенсивности конфликтов, следствием которых являются рост объемов причиняемого материального и экологического ущерба, снижение эффективности и устойчивости природопользования.

[6]Приказ Минприроды России от 31.08.2010 № 335 «Об утверждении порядка составления схемы размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории субъекта Российской Федерации, а также требований к ее составу и структуре». Гарант.ру – информационно-правовой портал.
URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2073179/

Закрепление охотничьих угодий. Принятый в 1995 году ФЗ № 52 установил сложный многоступенчатый механизм предоставления охотничьих угодий и объектов животного мира в долгосрочное пользование. Важной особенностью данного порядка являлось разделение компетенций между органами государственной власти. Федеральные органы власти определяли ключевые параметры этого порядка: приоритетное право и гарантии для отдельных категорий лиц; правоустанавливающие документы и их содержание; форму торгов при наличии равных по приоритету претендентов – конкурс; условия и порядок выдачи, приостановления действия и аннулирования лицензий на право пользования охотничьими животными; права и обязанности пользователей животным миром; некоторые другие характеристики. Высшие исполнительные органы государственной власти субъектов РФ устанавливали порядок проведения конкурсов, а также принимали решение о предоставлении территории для пользования объектами животного мира. Специально уполномоченные органы исполнительной власти субъектов РФ принимали заявки претендентов, рассматривали их экологические обоснования, включающие перспективный план хозяйственной деятельности, готовили заключение о возможности предоставления угодий, проводили конкурс и оформляли правоустанавливающие документы, согласовывали условия пользования земельными и лесными участками с правообладателями (оговоримся, что первоначальная редакция ФЗ № 52 содержала иное распределение полномочий между государственными органами, но было изменено в силу сложности и, в конечном счете, неэффективности).

Механизм закрепления угодий, предусмотренный ФЗ № 209, характеризуется двумя основными отличиями от ранее действовавшего. Первое отличие заключается в сосредоточении у федеральных органов власти полномочий по определению всех параметров закрепления охотничьих угодий с одновременной ликвидацией механизмов согласований с заинтересованными лицами возможности и условий пользования ресурсами. Соответственно вместо трех правоустанавливающих документов, предусматривавшихся ФЗ № 52, оформляется один – охотхозяйственное соглашение, по которому могут предоставляться в аренду земельные и лесные участки, не исключенные из состава охотугодий. Роль органов государственной власти субъектов РФ сводится к организационно-техническим функциям по реализации установленного порядка предоставления угодий. Второе отличие заключается в форме торгов по предоставлению права долгосрочного пользования рассматриваемыми ресурсами (аукцион).

Произошедшие изменения в механизме предоставления права долгосрочного охотпользования коренным образом поменяли институциональный ландшафт в рассматриваемой сфере деятельности. Закрепленный в ФЗ № 52 принцип «двух ключей» в совокупности с конкурсной формой торгов, когда основные параметры порядка закрепления угодий устанавливались на федеральном уровне, а субъекты РФ с учетом региональных экологических, экономических и социальных особенностей определяли территориальные условия пользования, оказались неэффективными. Основная причина неэффективности – коррупциогенность региональных правовых норм в условиях действия искажающих стимулов общей институциональной среды (слабость правоохранительной системы, политическая и экономическая нестабильность и др.) и неразвитости институтов гражданского общества. В некоторой степени переход к действующей модели являлся оправданным для того исторического периода, обеспечив минимальный уровень устойчивости отношений в сфере охотничьего природопользования. Однако к настоящему времени проявились и имеют тенденцию к усугублению некоторые экологические, экономические и социальные проблемы, обусловленные реализуемой моделью закрепления охотничьих угодий (увеличение случаев гибели охотничьих животных при производстве сельскохозяйственных работ, недро- и лесопользовании; слабая защита прав охотпользователей; высокая степень монополизации и неконкурентная среда; преобладание экстенсивных форм ведения хозяйства и другие). Указанные обстоятельства обусловливают необходимость поиска новой модели закрепления охотничьих угодий.

Социальные гарантии (за исключением коренных малочисленных народов). Охота в России традиционно является важным социальным институтом, культурным феноменом, фактором, определяющим традиционный уклад жизни общества. Законодательство дореволюционного, советского и первоначального постсоветского периодов учитывало эту нацио-

нальную особенность охоты, нормативно закрепляя механизмы, обеспечивающие широкий доступ к охотничьим ресурсам. Так, ФЗ № 52 устанавливал обязанность государственных органов при долгосрочном закреплении угодий учитывать интересы местного населения при обязательном соблюдении принципа гласности (ст. 37). Опираясь на федеральные правовые нормы, региональные представительные и исполнительные органы развивали институт охотничьего гарантирования, определяя конкретные инструменты и объемы таких гарантий[7]. Обзор применявшихся нормативных механизмов обеспечения прав местных и массовых охотников представлен в литературе [16].

Современное охотничье законодательство, в том числе ФЗ № 209, рассматривая охотничье природопользование, прежде всего, как вид экономической деятельности, не содержит институт охотничьего гарантирования. Отмечается, что в современных условиях такой подход приводит к негативным последствиям [17, 18].

Таким образом, в государственном регулировании охотничьего природопользования отчетливо различаются по своим ключевым параметрам 2 этапа:

1 этап – с 24.04.1995 по 01.04.2010 – с даты принятия ФЗ № 52 до даты вступления в силу ФЗ № 209.

2 этап – с 01.04.2010, с даты вступления в силу ФЗ № 209 по настоящее время.

Основные их отличительные особенности отражены в таблице.

Таблица – **Основные отличительные особенности государственного регулирования охотничьего природопользования фаунистическим и охотничьим законодательством /**
Table – **Main distinguishing features of the state regulation of hunting nature management by faunal and hunting legislation**

Ключевые аспекты регулирования / Key aspects of regulation	*Основные характеристики / Main Features*	
	ФЗ № 52	*ФЗ № 209*
Степень централизации государственных полномочий / Degree of centralization of state powers	Умеренная / Moderate	Высокая / High
Формирование охотничьих угодий / Formation of hunting grounds	Заявительный порядок / Declaration procedure	Распределительный порядок / Distribution order
Согласование интересов со смежными природопользователями, правообладателями земельных участков / Coordination of interests with related nature users, land rights holders	Договорная модель / Contractual model	Административная модель / Administrative model
Закрепление охотничьих угодий / Hunting grounds rental:		
- компетенция органов государственной власти / competence of state bodies	Принцип «двух ключей» / The "two keys" principle	Принцип концентрации / The principle of concentration
- форма торгов / bidding form	Конкурс / Contest	Аукцион / Auction
Социальные гарантии (за исключением коренных малочисленных народов) / Social guarantees (with the exception of small indigenous peoples)	Предусмотрены / Provided	Не предусмотрены / Not provided

Проведенное исследование показывает, что государственное регулирование в обоих периодах не являлось достаточно эффективным и не обеспечивало устойчивости охотничьего природопользования, что согласуется с данными других авторов [19, 20]. На первом этапе дестабилизирующими факторами были негативное влияние общей институциональной среды, отсутствие надлежащих компетенций у сотрудников уполномоченных государственных органов, несформированность институтов гражданского взаимодействия и контроля. Ответом на вызовы стало системное упрощение на втором этапе отраслевой институциональной среды, результатом которого стала деградация общественных отношений, обострение названных выше экологических, экономических и социальных проблем. При этом наблюдается тенденция к дальнейшей редукции отношений в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов, сужению институциональных рамок, повышению степени их экстрактивности. В частности, поправками, внесенными в 2021 году в ФЗ № 209, закреплено право

[7]См., например, постановление Коллегии Орловской области от 11.10.2006 № 204; постановление Правительства Кировской области от 14.04.2008 № 128/128; постановление Администрации Костромской области от 08.06.2009 № 224-а.

на безаукционное заключение охотхозяйственных соглашений с лицами, добросовестно исполнившими свои права и обязанности по истекшему охотхозяйственному соглашению. Другим примером планируемого упрощения является рассматриваемый в настоящее время вопрос об упразднении института экологической экспертизы лимитов добычи охотничьих ресурсов [21]. Современная институциональная среда охотничьего природопользования блокирует стимулы, развивающие конкуренцию, увеличение заинтересованности широкого круга лиц в отраслевых продуктах, доступ к дешевому капиталу для внедрения инноваций, расширения перечня и объема оказываемых услуг. Полагаем, что достижение объявленной цели – обеспечение устойчивости охотничьего природопользования – в рамках существующей модели государственного регулирования отношений является невозможным. Представляется целесообразным изменение траектории отраслевого развития на основе открытий институциональной теории, в основу которой должны быть положены принципы децентрализации и субсидиарности государственных полномочий, саморегулирования, конкурентности, гласности, широкого общественного и профессионального участия. Разработка новой модели должна происходить с обязательным широким применением цифровых инструментов и глубокой проработкой спецификации права собственности на охотничьи ресурсы («пучка прав»).

Заключение. Трансформация института государственного регулирования охотничьего природопользования в постсоветский период происходила в два этапа. На первом этапе в законодательство был имплементирован ряд прогрессивных по своей сути институтов, но они остались не подкреплены необходимыми инструментами реализации, оказались под влиянием негативных условий общей институциональной среды и отрицательных субъективных факторов, в результате чего привели к высоким трансакционным издержкам, сдерживанию экономической активности и были существенно редуцированы на втором этапе. На сегодняшний день объективно существует необходимость перехода к третьему этапу регулирующего воздействия на принципах, изложенных в данной работе. Полагаем, что на предстоящем этапе государство должно будет сконцентрироваться и ограничиться задачами, требующими высокого уровня координации – укрепления национальной безопасности (в т. ч. в области защиты от биогенных угроз, повышения уровня экологической и продовольственной безопасности), международного сотрудничества, правопорядка, рамочного регулирования, улучшения координирующих функций, развития цифровизации и качества предоставления публичных услуг.

Список литературы

1. Данилкин А. А. Анализ реализации стратегии развития охотничьего хозяйства в Российской Федерации до 2030 года: ресурсный аспект. Вестник охотоведения. 2025;22(1):33–40. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80577804 EDN: FBNRVD

2. Андреев М. Н., Краев Н. В., Краева В. Н. Федеральная государственная политика в сфере охоты и охотничьего хозяйства. Экологическое право. 2013;(3):27–33.

3. Гребнев И. А. Проблемы государственного регулирования организации зон охраны охотничьих ресурсов. Теоретическая и прикладная экология. 2019;(1):122–128. DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-1-122-128 EDN: WQZGAD

4. Данилкин А. А. Государственная политика и управление в сфере охоты: тот ли выбран курс? Вестник охотоведения. 2015;12(1):104–117.

5. Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. М.: Начала, 1997. 190 с.

6. Боровская Л. В. Институциональная среда и особенности ее формирования в результате институциональных изменений. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2018;(4):5–12. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=37035267&ysclid=m8k6zuh08f339710606 EDN: YYJFET

7. Штразбург С. В. Институциональная среда формирования человеческого капитала. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2009;4(2):105–107. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=12899010 EDN: KWGZTR

8. Норт Д. Институты и экономический рост: историческое введение. THESIS. 1993;1(2):69–91. Режим доступа: https://studfile.net/preview/16813106/page:3/

9. Фукуяма Ф. Сильное государство: Управление и мировой порядок в XXI веке. М.: АСТ, 2006. 220 с.

10. Ходжсон Дж. Экономическая теория и институты: Манифест современной институциональной экономической теории. М.: Дело, 2003. 464 с.

11. Аджемоглу Д., Робинсон Дж. А. Почему одни страны богатые, а другие бедные. Происхождение власти, процветания и нищеты. М.: АСТ, 2015. 575 с.

12. Попов Е. В., Власов М. В., Веретенникова А. Ю. Об экономическом институте. Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. 2011;(6):4–21. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17104465 EDN: OKHSQJ

13. Матвейчук С. П. О структуре, составе и значении схем размещения охотугодий. Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Киров: ФГБНУ ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова, 2012. С. 52–53. Режим доступа: https://elibrary.ru/hpwoki EDN: HPWOKI

14. Андреев М. Н., Краев Н. В., Краева В. Н. Региональная государственная политика в сфере охоты и охотничьего хозяйства. Экологическое право. 2013;(4):17–23.

15. Evans M., Zimmermann A. The Global Relevance of Subsidiarity: An Overview. Global Perspectives on Subsidiarity. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2014. pp. 1–7. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-017-8810-6_1

16. Матвейчук С. П. Механизмы закрепления гарантий доступности охоты в закрепленных охотничьих угодьях. Охрана и рациональное использование животных и растительных ресурсов: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2023. С. 159–165.
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.8152666 EDN: SRQEPV

17. Данилкин А. А. О возможной депрессии населения диких копытных в период экономического кризиса и необходимости упреждающих мер. Вестник охотоведения. 2015;12(2):171–185.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=26367180 EDN: WEZVBB

18. Шулятьев А. А. Проблемы устойчивого использования охотничьих ресурсов и государственного надзора в сфере охоты. Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства. 2017;(3(6)):146–151.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=30480707 EDN: ZRAGAV

19. Краев Н. В. Нужен новый федеральный закон об охоте и охотничьем хозяйстве. Законодательное обеспечение охраны животного мира: монография. Е. Л. Минина, С. А. Боголюбов, Ю. А. Тихомиров [и др.]; отв. ред. Н. А. Духно, С. А. Боголюбов. М.: Юридический институт МИИТ, 2016. С. 131–138

20. Горохов Д. Б., Шунаева Д. Д. Охотничьи угодья: соотношение правового регулирования и фактического положения. Журнал российского права. 2019;(5):119–132. DOI: https://doi.org/10.12737/art_2019_5_11 EDN: TYYUHK

21. Арамилева Т. С., Егоров Г. В., Комова И. И., Матвейчук С. П., Палагута С. А., Юдин А. А. Экологическая экспертиза лимитов добычи охотничьих животных: проблемы и аргументация. Биосферное хозяйство: теория и практика. 2022;(6(47)):5–13. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.8419611 EDN: AJZHEE

References

1. Danilkin A. A. Analysis of the implementation of “the strategy for the development of hunting husbandry in the russian federation until 2030”: resource aspect. *Vestnik okhotovedeniya* = Bulletin of hunting science. 2025;22(1):33–40. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80577804

2. Andreev M. N., Kraev N. V., Kraeva V. N. Federal state policy in the sphere of hunting and hunting sector. *Ekologicheskoe parvo* = Environmental Law. 2013;(3):27–33. (In Russ.).

3. Grebnev I. A. Problems of state regulation of the organization of hunting protection zones. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2019;(1):122–128. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-1-122-128

4. Danilkin A. A. State policy and management in the field of hunting: is the right course chosen? *Vestnik okhotovedeniya* = Bulletin of hunting science. 2015;12(1):104–117. (In Russ.).

5. North D. Institutions, institutional changes, and the functioning of the economy. Moscow: *Nachala,* 1997. 190 p.

6. Borovskaya L. V. Institutional environment and peculiarities of its formation as a result of institutional changes. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i upravleniye* = Eurasian Journal of Economics and Management. 2018;(4):5–12. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=37035267&ysclid=m8k6zuh08f339710606

7. Shtrazburg S. V. The institutional environment of human capital formation. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2009;4(2):105–107. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=12899010

8. North D. Institutions and economic growth: An historical introduction. THESIS. 1993;1(2):69–91.
URL: https://studfile.net/preview/16813106/page:3/

9. Fukuyama F. State building: Governance and World Order in the Twenty-First Century. Moscow: *AST*, 2006. 220 c.

10. Hodgson G. Economic Theory and Institutions: A Manifesto of Modern Institutional Economic Theory. Moscow: *Delo*, 2003. 464 p.

11. Acemoglu D., Robinson J. A. Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity, and Poverty. Moscow: *AST*, 2015. 575 p.

12. Popov E. V., Vlasov M. V., Veretennikova A. Yu. On the economic institutions. *Vestnik UrFU. Seriya: Ekonomika i upravlenie*. 2011;(6):4–21. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17104465

13. Matveytchuk S. P. On the structure, composition, and significance of hunting grounds placement schemes. Modern problems of nature management, hunting and animal husbandry: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Kirov: *FGBNU VNIIOZ im. prof. B. M. Zhitkova,* 2012. pp. 52–53.
URL: https://elibrary.ru/hpwoki

14. Andreev M. N., Kraev N. V., Kraeva V. N. Regional and state policy in the sphere of hunting and hunting farm. *Ekologicheskoe pravo* = Environmental Law. 2013;(4):17–23. (In Russ.).

15. Evans M., Zimmermann A. The Global Relevance of Subsidiarity: An Overview. Global Perspectives on Subsidiarity. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2014. pp. 1–7. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-017-8810-6_1

16. Matveychuk S. P. Tools for guaranteeing the accessibility of hunt in leased hunting grounds. Protection and rational use of animal and plant resources: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Molodezhniy: *Irkutsky GAU*, 2023. pp. 159–165. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.8152666

17. Danilkin A. A. About possible depression population of wild ungulates during the economic crisis and the need for proactive measures. *Vestnik okhotovedeniya* = Bulletin of hunting science. 2015;12(2):171–185. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=26367180

18. Shulyatyev A. A. Problems of sustainable use of hunting resources and state supervision in the sphere of hunting. *Gumanitarnyye aspekty okhoty i okhotnichyego khozyaystva* = Humanitarian aspects of hunting and hunting economy. 2017;(3(6)):146–151. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=30480707

19. Kraev N. V. We need a new federal law on hunting and hunting economy. Legislative support for the protection of wildlife: monograph. E. L. Minina, S. A. Bogolyubov, Yu. A. Tikhomirov [et al.]; ed. N. A. Dukhno, S. A. Bogolyubov. Moscow: *Yuridicheskiy institut MIIT,* 2016. pp. 131–138.

20. Gorokhov D. B., Shunaeva D. D. Hunting areas: ratio of legal regulation and actual situation. *Zhurnal rossiyskogo prava* = Journal of Russian Law. 2019;(5):119–132. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.12737/art_2019_5_11

21. Aramileva T. S., Egorov G. V., Komova I. I., Matveychuk S. P., Palaguta S. A., Yudin A. A. Ecological assessment of hunting bag limits: problems and argumentation. *Biosfernoye khozyaystvo: teoriya i praktika.* 2022;(6(47)):5–13. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.8419611

Сведения об авторе

Гребнев Иван Анатольевич, кандидат биол. наук, доцент, доцент кафедры трудового и социального права, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ул. Московская, д. 36, г. Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru; доцент кафедры охотоведения и биологии диких животных, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Российская Федерация, Октябрьский пр-кт, 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017, e-mail: info@vgsha.info; директор, АНО «Институт природоресурсного и экологического права», ул. Пролетарская, д. 14, г. Киров, Российская Федерация, 610002, e-mail: ivan_grebnev_84@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8028-0713**

Information about the author

Ivan A. Grebnev, PhD in Biology, associate professor, associate professor at the Department of Labor and Social Law, Vyatka State University, Moskovskaya str., 36, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru; associate professor at the Department of Hunting and Biology of Wild Animals, Vyatka State Agrotechnological University, Oktyabrsky Ave., 133, Kirov, Russian Federation, 610017, e-mail: info@vgsha.info; director, ANO "Institute of Natural Resource and Environmental Law", Proletarskaya str., 14. Kirov, Russian Federation, 610002, e-mail: ivan_grebnev_84@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8028-0713**

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.219–229
УДК 631.171:004.3:004.932

(cc) BY

Разработка нейросетевой модели на Python для прогнозирования урожайности картофеля в условиях ограниченного объема данных

© 2026. Д. А. Москвичев✉
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Научная работа посвящена разработке нейросетевой модели на языке программирования Python для решения технологической задачи прогнозирования урожайности картофеля в условиях ограниченного объема агроклиматических данных. Разработанная программа рассматривается как элемент цифровой трансформации технологических процессов в растениеводстве, ориентированный на оптимизацию использования сельскохозяйственной техники и материальных ресурсов в агропромышленном комплексе. В исследовании использованы данные за 2022–2024 гг. о климатических условиях, типах почв и фактической урожайности картофеля по агропредприятиям Ульяновской области. Для обеспечения качества исходной информации проведена комплексная предобработка данных, включающая устранение пропущенных значений, фильтрацию статистических выбросов и нормализацию числовых параметров. Создана модель нейронной сети с использованием библиотек TensorFlow и Keras с архитектурой, включающей входной слой, два скрытых слоя по 64 нейрона и выходной слой. Особенностью исследования является работа с ограниченным объемом данных (15 наблюдений за 3 года), в связи с чем для предотвращения переобучения были применены методы регуляризации (L2, Dropout) и аугментации данных. Архитектура оптимизирована методом подбора гиперпараметров, а для оценки надежности модели применено перекрестное проверочное разделение данных. Валидация модели на тестовой выборке показала, что разработанная нейронная сеть обеспечивает среднюю абсолютную ошибку (MAE) 0,32 т/га и коэффициент детерминации (R^2) 0,87. Модель превзошла по качеству прогноза множественную линейную регрессию (MAE = 0,45 т/га, R^2 = 0,75) и случайный лес (MAE = 0,38 т/га, R^2 = 0,81). Полученные результаты демонстрируют потенциал разработанного программного обеспечения для повышения эффективности планирования агротехнологических операций. Рекомендуется внедрение модели в качестве программного модуля систем поддержки принятия решений при управлении технологическими процессами в картофелеводстве.

Ключевые слова: *агропромышленный комплекс, цифровые технологии, программное обеспечение, нейронные сети, оптимизация ресурсов, картофелеводство, технологические процессы*

***Благодарности*:** работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики. Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Москвичев Д. А. Разработка нейросетевой модели на Python для прогнозирования урожайности картофеля в условиях ограниченного объема данных. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):219–229. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.219-229

Поступила: 19.05.2025 Принята к публикации: 26.01.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Developing a Python neural network model for potato yield forecasting with limited data

© 2026. Dmitry A. Moskvichev✉
Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

This research focuses on developing a neural network model in the Python programming language to solve the technological problem of forecasting potato yields with limited agroclimatic data. The developed program is considered as an element of the digital transformation of technological processes in crop production, aimed at optimizing the use of agricultural machinery and material resources in the agro-industrial complex. The study used data for 2022–2024 on climatic conditions, soil types, and actual potato yields at agricultural enterprises in the Ulyanovsk region. To ensure the quality of the initial information, comprehensive data preprocessing was performed, including the elimination of missing values, filtering of statistical outliers, and normalization of numerical parameters. A neural network model was created using the TensorFlow and Keras libraries with an architecture including an input layer, two hidden layers of 64 neurons each, and an output layer. A distinctive feature of the study is that it works with a limited amount of data (15 observations over 3 years). Therefore, regularization (L2, Dropout)

and data augmentation methods were used to prevent overfitting. The architecture was optimized using hyperparameter selection, and a cross-validation split of the data was used to evaluate the reliability of the model. Validation of the model on a test set showed that the developed neural network provides a mean absolute error (MAE) of 0.32 t/ha and a determination coefficient (R^2) of 0.87. The model outperformed multiple linear regression (MAE = 0.45 t/ha, R^2 = 0.75) and random forest (MAE = 0.38 t/ha, R^2 = 0.81) in forecast quality. The obtained results demonstrate the potential of the developed software for improving the efficiency of planning agricultural operations. It is recommended to implement the model as a software module for decision support systems in the management of technological processes in potato growing.

Keywords: *agro-industrial complex, digital technologies, software, neural networks, resource optimization, potato farming, technological processes.*

Acknowledgements: the work was completed without financial support within the framework of the initiative topic. The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citations: Moskvichev D. A. Developing a Python neural network model for potato yield forecasting with limited data. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):219–229. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.219-229

Received: 19.05.2025 Accepted for publication: 26.01.2026 Published online: 27.02.2026

Современный агропромышленный комплекс переживает этап активной цифровой трансформации, где ключевым направлением развития являются «Технологии, машины и оборудование сельскохозяйственного назначения» [1]. В рамках этого направления особую актуальность приобретает создание интеллектуальных программных комплексов для управления технологическими процессами в растениеводстве. Одной из наиболее важных технологических задач, непосредственно влияющих на эффективность использования машинно-тракторного парка и материальных ресурсов, является точное прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур [2]. Картофель как одна из ключевых продовольственных культур требует особого подхода к планированию технологических операций – от подготовки почвы до уборки и хранения [3]. Традиционные методы оценки урожайности, основанные на эмпирическом опыте и статистических данных, часто не учитывают комплексное влияние множества технологических параметров, что приводит к значительным погрешностям в планировании производственных процессов[1]. Разработка специализированного программного обеспечения с применением нейронных сетей представляет собой перспективное направление решения данной технологической задачи [4]. Нейросетевые модели способны анализировать многомерные данные технологического цикла и выявлять сложные нелинейные зависимости между агротехническими параметрами и конечной урожайностью[2].

Цель исследования – разработка нейросетевой программы на высокоуровневом языке программирования Python для прогнозирования урожайности картофеля, ориентированной на интеграцию в технологические процессы агропромышленного комплекса.

Особое внимание уделено особенностям реализации программного обеспечения, обеспечивающим его практическое применение в условиях современного сельскохозяйственного производства [5].

Основные задачи исследования:

- адаптация методов машинного обучения для решения технологической задачи прогнозирования урожайности картофеля [6];
- разработка архитектуры нейронной сети, учитывающей специфику технологических параметров картофелеводства;
- реализация программного модуля с возможностью интеграции в системы управления технологическими процессами;
- верификация эффективности разработанного решения на реальных производственных данных [7].

[1]Чашинский А. В., Рогозина Е. В., Козлов В. А., Башко Д. В. Изучение межвидовых гибридов картофеля селекции отдела генетических ресурсов картофеля ВИР в условиях Республики Беларусь. V Вавиловская международная конференция: к 135-летию со дня рождения Н. И. Вавилова: тез. докл. Санкт-Петербург, 21–25 ноября 2022 года. Санкт-Петербург: ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова, 2022. С. 161–162. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50259275&pff=1 EDN: SYZASX

[2]Середкин Е. И., Иваньо Я. М. Проектирование информационной системы прогнозирования урожая с использованием спутниковой информации. Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона: сб. научн. тез. студ. п. Молодежный, 07–08 ноября 2024 года. п. Молодежный: Иркутский ГАУ им. А. А. Ежевского, 2024. С. 456–457.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80478476&pff=1 EDN: STXDPI

Преимущества использования нейронных сетей:

- с их помощью можно эффективно обрабатывать и анализировать большие массивы данных, что позволяет учитывать множество факторов, влияющих на урожайность [8];
- способны находить сложные нелинейные зависимости, которые могут быть неочевидны при использовании традиционных методов анализа [9];
- полученные модели можно адаптировать и улучшить по мере поступления новых данных, что позволит поддерживать их актуальность [10].

Научная новизна – заключается в адаптации и верификации архитектуры нейронной сети для задач прогнозирования урожайности картофеля в условиях малого объема агроклиматических данных, характерных для регионального уровня, а также в разработке специализированного программного обеспечения, сочетающего методы машинного обучения с требованиями технологических процессов в картофелеводстве, что позволяет оптимизировать использование сельскохозяйственной техники и материальных ресурсов.

Практическая значимость определяется возможностью внедрения разработанной программы в качестве программного модуля систем поддержки принятия технологических решений, обеспечивающего повышение эффективности планирования производственных операций в картофелеводстве.

Материал и методы. Для разработки модели были собраны данные о климате, почве и урожайности за несколько лет из различных источников, включая метеорологические станции и агрономические исследования. Данные включали такие параметры, как температура, осадки, тип почвы и предыдущие урожаи [11]. Создание программы на Python для прогнозирования урожайности картофеля с использованием нейронных сетей – это задача, которая требует сбора данных, их обработки и построения модели [12]. В данном случае работа программы ЭВМ представлена в виде алгоритма (рис. 1).

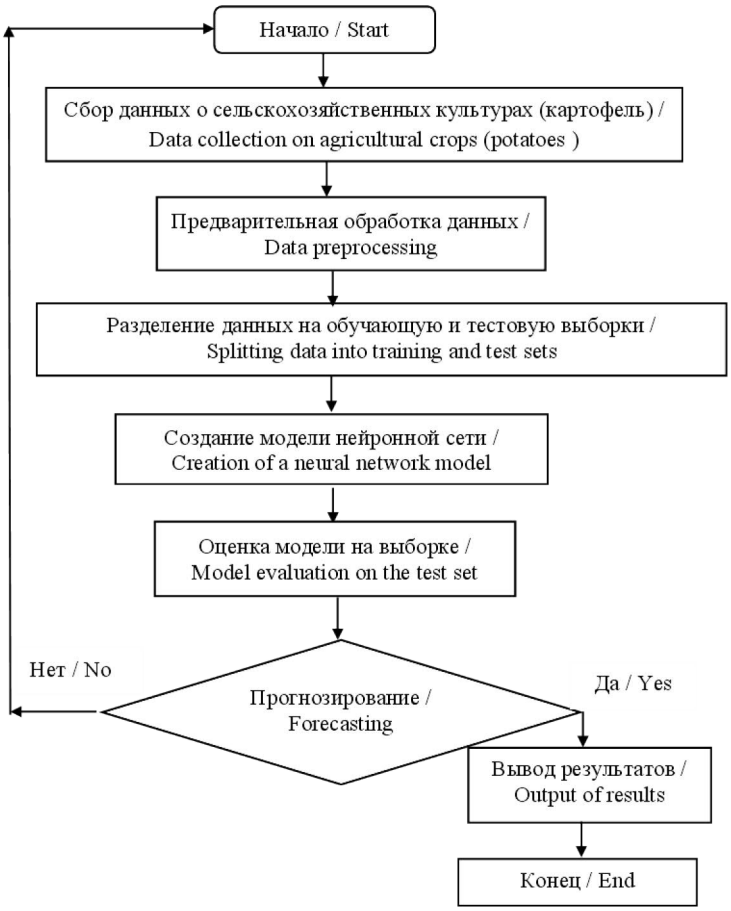


Рис. 1. **Алгоритм работы программы ЭВМ на Python для прогнозирования урожайности картофеля с использованием нейронных сетей /**

Fig. 1. **An algorithm for a Python computer program for predicting potato yields using neural networks**

Далее переходим к описанию программы, включая необходимые шаги и код. Этапы разработки программы [13]:

Сбор данных об урожайности различных культур в зависимости от факторов, таких как температура, осадки, тип почвы, используемые удобрения, площадь посева. Данные могут быть получены из открытых источников – государственные статистические службы или специализированные агрономические исследования.

Предварительная обработка данных:

- очистка: удаление пропусков, аномалий и некорректных значений;

- нормализация: приведение всех параметров к одному масштабу для улучшения работы нейронной сети;

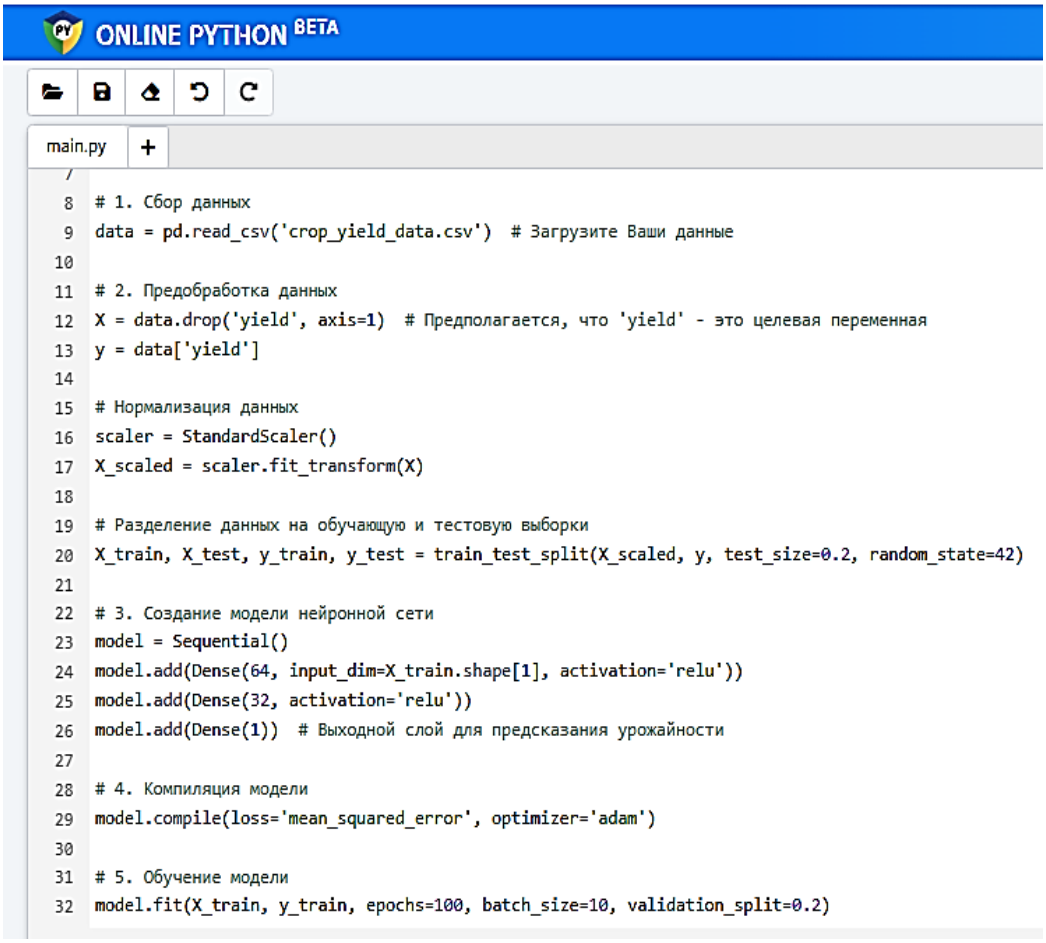
- разделение на обучающую и тестовую выборки.

Создание модели нейронной сети – использование библиотеки TensorFlow или Keras для разработки и обучения модели. Определение архитектуры нейронной сети. Входной слой: количество нейронов соответствует количеству факторов. Скрытые слои: один или несколько слоев с функцией активации ReLU. Выходной слой: один нейрон для прогнозирования урожайности.

Обучение модели на обучающей выборке с использованием функции потерь (например, среднеквадратичная ошибка) и оптимизатора (например, Adam). Мониторинг процесса обучения с использованием валидационной выборки для предотвращения переобучения.

Оценка производительности модели на тестовой выборке с использованием метрик, таких как MAE (средняя абсолютная ошибка) и RMSE (корень из средней квадратичной ошибки).

Фрагмент кода программы ЭВМ на Python для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с использованием нейронных сетей представлен на рисунке 2.




```
# 1. Сбор данных
data = pd.read_csv('crop_yield_data.csv')  # Загрузите Ваши данные

# 2. Предобработка данных
X = data.drop('yield', axis=1)  # Предполагается, что 'yield' - это целевая переменная
y = data['yield']

# Нормализация данных
scaler = StandardScaler()
X_scaled = scaler.fit_transform(X)

# Разделение данных на обучающую и тестовую выборки
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X_scaled, y, test_size=0.2, random_state=42)

# 3. Создание модели нейронной сети
model = Sequential()
model.add(Dense(64, input_dim=X_train.shape[1], activation='relu'))
model.add(Dense(32, activation='relu'))
model.add(Dense(1))  # Выходной слой для предсказания урожайности

# 4. Компиляция модели
model.compile(loss='mean_squared_error', optimizer='adam')

# 5. Обучение модели
model.fit(X_train, y_train, epochs=100, batch_size=10, validation_split=0.2)
```

Рис. 2. **Фрагмент программы ЭВМ на Python для прогнозирования урожайности картофеля с использованием нейронных сетей /**

Fig. 2. **A fragment of a Python computer program for predicting potato yields using neural networks**

Визуализация результатов прогнозирования с помощью табличных значений. Программная реализация представляет собой модуль, который принимает на вход значения параметров (факторов) и возвращает прогнозируемую урожайность. Создание простого графического интерфейса или командной строки для взаимодействия с пользователем представлено на рисунке 3.

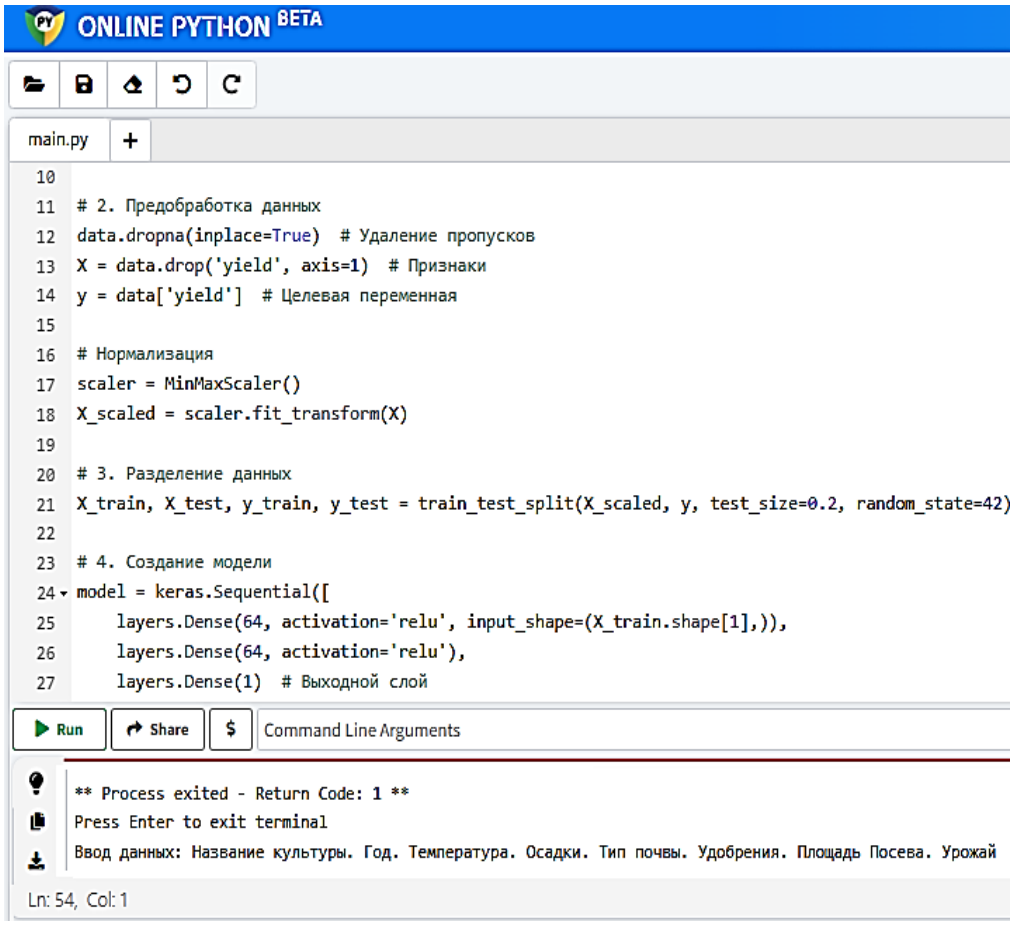


Рис. 3. **Фрагмент визуализации ввода данных программы ЭВМ /**
Fig. 3. **Fragment of visualization of data input of a computer program**

Для обучения и валидации модели использовали данные за 3-летний период (2022–2024 гг.) по агропредприятиям Ульяновской области. Общий объем исходной выборки составил 15 наблюдений (по 5 хозяйствам ежегодно).

Источники данных:

- метеорологические – среднесуточная температура за вегетационный период, сумма осадков (ФГБУ «Ульяновский ЦГМС»[3]);

- по почвенному составу и агротехническим параметрам – тип почвы, виды удобрений, площадь посева (операционная отчетность сельхозпредприятий);

- фактическая урожайность: уборочные ведомости хозяйств.

Проблема малого объема выборки и методы ее компенсации. Учитывая объем данных, для предотвращения переобучения модели были применены: L2-регуляризация с коэффициентом 0,001 в скрытых слоях нейронной сети; dropout-слои с вероятностью 0,2 после каждого скрытого слоя; ранняя остановка (early stopping) при мониторинге loss на валидационной выборке с patience = 15 эпох; аугментация данных путем добавления гауссова шума к числовым признакам в пределах 5 % от стандартного отклонения. Помимо указанных параметров, в модель были включены следующие производные признаки: скользящие средние температуры за ключевые периоды вегетации; накопленная сумма осадков; бинарные признаки для каждого типа почвы

[3]Метеоинфо – сайт. [Электронный ресурс]. URL: https://meteoinfo.ru/ (дата обращения: 01.05.2025).

и удобрений; произведения признаков (взаимодействия), такие как "температура х осадки".

Для объективной оценки эффективности разработанной нейросетевой модели проведено сравнение с тремя традиционными методами машинного обучения: множественная линейная регрессия (Linear Regression); случайный лес (Random Forest) со 100 деревьями; метод опорных векторов (Support Vector Regression) с RBF-ядром.

Все сравнительные модели реализованы с использованием библиотеки scikit-learn (v.1.3) с оптимизацией гиперпараметров методом GridSearchCV.

Для оценки надежности прогноза использована 5-кратная перекрестная валидация (5-fold cross-validation) со стратифицированным разделением по годам. Исходная выборка разделена на 5 блоков (folds) с сохранением пропорций по годам. В каждом эксперименте 4 блока использовали для обучения, 1 – для тестирования. Процедура повторена 5 раз с ротацией тестового блока. Итоговые метрики рассчитаны как среднее по всем итерациям. Гиперпараметры нейронной сети:

1. Алгоритм оптимизации Adam (learning rate = 0,001).
2. Размер мини-батча – 8 наблюдений.
3. Количество эпох – 200 (с ранней остановкой).
4. Функция потерь – MSE (Mean Squared Error).

Результаты и их обсуждение. Программа прошла проверку опытным путем. В качестве экспериментальной части рассмотрена урожайность картофеля сорта Коломбо. Данные по урожайности взяты по агропредприятиям Ульяновской области за 2022, 2023, 2024 гг. и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – **Экспериментальные данные по урожайности картофеля сорта Коломбо в агропредприятиях Ульяновской области за 2022, 2023, 2024 гг. /**
Table 1 – **Experimental data on the yield of 'Colombo' potatoes at agricultural enterprises in the Ulyanovsk region for 2022, 2023, 2024**

Среднесуточная температура воздуха, °C / Average daily air temperature, °C	*Сумма осадков, мм / Total precipitation, mm*	*Тип почвы / Soil type*	*Удобрения / Fertilizers*	*Площадь посева, га / Sown area, ha*	*Урожайность, т/га / Productivity, t/ha*
1	2	3	4	5	6
2022 г.					
20	300	Чернозем / Chernozem	Азотные, калийные / Nitrogen, potassium	10	25
22	250	Чернозем / Chernozem	Азотные, фосфорные / Nitrogen, phosphorus	15	28
18	350	Серая лесная / Gray forest soil	Комплексные / Complex	20	22
21	280	Чернозем / Chernozem	Азотные / Nitrogen	12	27
19	320	Дерново-подзолистая / Sod-podzolic	Фосфорные / Phosphorus	18	24
2023 г.					
21	290	Чернозем / Chernozem	Азотные, калийные / Nitrogen, potassium	12	26
23	260	Чернозем / Chernozem	Азотные, фосфорные / Nitrogen, potassium	16	30
19	340	Серая лесная / Gray forest soil	Комплексные / Complex	22	24
20	275	Чернозем / Chernozem	Азотные / Nitrogen	14	28
22	310	Дерново-подзолистая / Sod-podzolic	Фосфорные / Phosphorus	20	25

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
2024 г.					
22	295	Чернозем / Chernozem	Азотные, калийные / Nitrogen, potassium	11	27
24	240	Серая лесная / Gray forest soil	Азотные, фосфорные / Nitrogen, phosphorus	14	29
20	360	Дерново-подзолистая / Sod-podzolic	Комплексные / Complex	21	23
19	280	Тяжёлый суглинок* / Heavy loam	Азотные / Nitrogen	16	25
23	310	Чернозем / Chernozem	Фосфорные / Phosphorus	19	30

Примечания: Агроклиматические параметры представлены за период вегетации картофеля.
*В модель в качестве признака включен гранулометрический состав тяжелосуглинистых и глинистых почв / Notes: Agroclimatic parameters are presented for the potato growing season.
*The model includes the particle size distribution of heavy loamy and clayey soils as a feature.

После использования разработанной программы ЭВМ были получены результаты прогноза урожайности на 2025 г. (табл. 2). Прогнозируемая температура для 2025 г. варьирует от 20 до 23 °С. Эти значения находятся в пределах оптимального диапазона для большинства сельскохозяйственных культур, что свидетельствует о потенциально благоприятных условиях для роста и развития. Осадки изменяются от 260 до 340 мм. Это также является важным фактором, так как достаточное количество осадков способствует лучшему увлажнению почвы и, следовательно, более высоким урожаям. Однако обильные осадки (например, 340 мм) могут привести к затоплению и другим проблемам. Среди различных типов почв чернозем, как наиболее плодородный, демонстрирует наивысшую прогнозируемую урожайность (27 и 29 т/га). Прибавка урожая картофеля от оптимизации фосфорного питания на подобных почвах может достигать 30–50 %. В условиях Ульяновской области при интенсивной технологии возделывания (орошение, сбалансированные подкормки) потенциальная урожайность картофеля на окультуренных дерново-подзолистых почвах также может превышать 25–30 т/га. Таким образом, модель отразила не абсолютное плодородие типа почвы, а реальный агротехнический потенциал конкретного поля при оптимальном управлении.

Таблица 2 – **Результаты прогноза урожайности картофеля сорта Коломбо, полученные с помощью программы ЭВМ на 2025 год /**
Table 2 – **Results of the 'Colombo' potato cultivar yield forecast obtained using a computer program for 2025**

Среднесуточная температура воздуха, °С / Average daily air temperature, °С	*Сумма осадков, мм / Total precipitation, mm*	*Тип почвы / Soil type*	*Удобрения / Fertilizers*	*Площадь посева, га / Sown area, ha*	*Урожайность, т/га / Productivity, t/ha*
2025 г.					
21	300	Чернозем / Chernozem	Азотные, калийные / Nitrogen, potassium	12	27
23	260	Чернозем / Chernozem	Азотные, фосфорные / Nitrogen, phosphorus	16	29
20	340	Серая лесная / Gray forest	Комплексные / Complex	22	24
20	280	Тяжёлый суглинок* / Heavy loam	Азотные / Nitrogen	14	26
22	310	Дерново-подзолистая / Sod-podzolic	Фосфорные / Phosphorus	20	28

*См. табл. 1 / Refer to table 1

Использование различных видов удобрений также влияет на прогнозируемые урожаи, что подтверждает необходимость правильного выбора удобрений для достижения максимальной урожайности. Прогнозируемая моделью более высокая урожайность на черноземах при внесении азотно-фосфорных удобрений (29 т/га) против азотно-калийных (27 т/га) не противоречит агрономическим принципам, а отражает специфику условий. Черноземы Ульяновской области характеризуются высокой естественной обеспеченностью калием, поэтому его дополнительное внесение может не давать значимой прибавки, тогда как фосфор, часто находящийся в труднодоступной форме, становится лимитирующим фактором. Модель, учитывая комплекс данных (исходный почвенный баланс, прогноз погоды), выявила эту неочевидную зависимость, демонстрируя, что на хорошо окультуренных черноземах приоритет в программе удобрений может смещаться в сторону фосфора для реализации потенциала урожайности, что согласуется с принципом региональной адаптации агротехнологий.

Площадь посева варьирует от 12 до 22 га. Большая площадь посева может привести к более высокому общему урожаю, однако важно учитывать, что эффективность использования ресурсов также зависит от других факторов, таких как тип почвы и удобрения. В практике хозяйствования площади под картофель на таких землях часто сознательно ограничивают, ориентируясь на участки с более легким гранулометрическим составом, что и согласуется с логикой данных, заложенных в модель. Этот технологический нюанс подтверждает, что модель корректно отражает не только биоклиматические, но и организационно-агротехнические взаимосвязи.

После завершения обучения модели были получены результаты прогноза урожайности картофеля. Процедура 5-кратной перекрестной валидации показала следующую производительность разработанной нейросетевой модели на тестовых блоках (фолдах): средние метрики по всем итерациям кросс-валидации; средняя абсолютная ошибка (MAE) – 3,2 ц/га; корень из среднеквадратичной ошибки (RMSE) – 3,9 ц/га; коэффициент детерминации (R^2) – 0,87.

Для объективной оценки эффективности проведено сравнение метрик с альтернативными алгоритмами машинного обучения, обученными и протестированными на тех же данных с использованием идентичной процедуры кросс-валидации, представленное в таблице 3.

Таблица 3 – **Сравнительные метрики моделей прогнозирования урожайности картофеля сорта Коломбо/**
Table 3 – **Comparative metrics of yield forecasting models for the 'Colombo' potato cultivar**

Модель / Model	*Средняя абсолютная ошибка (MAE), ц/га / Mean absolute error (MAE), c/ha*	*Корень из среднеквадратичной ошибки (RMSE), ц/га / Root mean square error (RMSE), c/ha*	*Коэффициент детерминации (R^2) / Coefficient of determination (R^2)*
Нейронная сеть (наша модель) / Neural network (our model)	**3,2**	**3,9**	**0,87**
Случайный лес (Random Forest) / Random Forest (RF)	3,8	4,7	0,81
Множественная линейная регрессия / Multiple linear regression (MLR)	4,5	5,4	0,75
Метод опорных векторов (SVR) / Support vector regression (SVR)	4,1	5,1	0,78

Для проверки значимости превосходства нейросетевой модели над лучшим из традиционных методов (Случайный лес) был проведен парный t-тест по результатам MAE на 5 фолдах кросс-валидации. Результат показал p-value < 0,05, что статистически подтверждает – улучшение качества прогноза не является случайным. Модель продемонстрировала значительное улучшение по сравнению с традиционными методами, такими как линейная регрессия.

Анализ результатов показал, что наибольшее влияние на урожайность оказывают климатические условия – температура и количество осадков. Однако также были выявлены важные корреляции с характеристиками почвы и предыдущими урожаями.

Реализация включает этапы сбора и предобработки данных, нормализации и обучения нейронной сети с использованием библиотек TensorFlow или Keras, а также графический пользовательский интерфейс, облегчающий взаимодействие пользователя с системой. Таким образом, созданная модель демонстрирует преимущества нейронных сетей в обработке данных и выявлении сложных зависимостей, что позволяет повысить качество прогноза урожайности картофеля. Полученные результаты указывают на потенциальные возможности для аграриев в планировании и управлении сельскохозяйственным производством, повышая его эффективность и обеспечивая более стабильные урожаи в условиях изменяющегося климата. Модель в её текущем состоянии показывает высокую эффективность на имеющейся выборке, но требует дальнейшей проверки и дообучения на более обширных и репрезентативных массивах данных из разных регионов, прежде чем может быть рекомендована для широкого практического применения. Таким образом, настоящее исследование служит доказательством концепции, а его основная практическая ценность заключается в демонстрации методики, которая может быть масштабирована после накопления дополнительных данных. В целом работа показывает перспективы внедрения современных технологий машинного обучения в агропромышленный комплекс и их важную роль в повышении продовольственной безопасности.

Заключение. Разработка программы ЭВМ на Python с применением нейронных сетей для прогнозирования урожайности картофеля продемонстрировала свою эффективность. Использование машинного обучения в данном исследовании позволило повысить надежность прогнозирования по сравнению с традиционными методами, что подтверждается снижением MAE на 1,3 ц/га. Программа прошла успешную проверку экспериментальным путем. В ходе кросс-валидации на данных по урожайности картофеля сорта Коломбо (Ульяновская область, 2022–2024 гг.) модель продемонстрировала стабильную эффективность: средняя абсолютная ошибка (MAE) составила 3,2±0,4 ц/га, коэффициент детерминации (R^2) – 0,87.

В настоящее время подана заявка на получение государственной регистрации программы ЭВМ. Дальнейшие исследования могут быть направлены на улучшение модели и ее адаптацию к различным регионам и культурам, что позволит агрономам принимать более обоснованные решения и улучшить продовольственную безопасность.

Список литературы

1. Беленков А. И., Мазиров М. А., Зеленев А. В. Взаимосвязь урожайности зерновых культур и слагаемых параметров, влияющих на нее. Инновационные технологии в селекции, семеноводстве и возделывании зерновых культур: проблемы, достижения и перспективы: сб. научн. ст. Международ. научн. конф., посвящ. 300-летию Российской академии наук. В 2-х томах. Москва, 04–05 апреля 2024 года. М.: ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка», 2024. С. 85–90.

2. Ёров Ш. Ф. Оценка применения органических удобрений на развитие и урожайность картофеля раннего. Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы современной науки, достижения и инновации: сб. научн. ст. по мат-лам XIII Международ. научн.-практ. конф. Уфа, 15 декабря 2023 года. Уфа: ООО «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2023. С. 222–227.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59762917 EDN: RZFZTE

3. Москвичев Д. А. Совершенствование системы мониторинга сельскохозяйственной техники. Мат-лы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А. Я. Миловича. Москва, 03–05 июня 2024 года. М.: РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2024. С. 535–539. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=PZSLBK&ysclid=mkmhq06fyo360918561 EDN: PZSLBK

4. Шарый П. А., Шарая Л. С., Рухович О. В., Шкуркин С. И. Методы моделирования урожайности сельскохозяйственных культур: обзор. Проблемы агрохимии и экологии. 2023;(2):62–70.
DOI: https://doi.org/10.26178/AE.2023.42.74.010 EDN: TBRORS

5. Москвичев Д. А., Хакимов Р. Т. Особенности разработки компьютерной программы для систем управления тракторами сельскохозяйственного назначения на основе искусственного интеллекта. АгроЭкоИнженерия. 2024;(4(121)):29–37. DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-29-37 EDN: OAPAPS

6. Боженко П. П., Стативко Р. У. Краткая характеристика нейронных сетей. Реализация расширяемой нейронной сети. Вестник молодёжной науки России. 2019;(5):1.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44496710 EDN: SDFVWR

7. Нарушевич А. Л., Болдырь Д. В., Демчук Е. В. Анализ систем глобального позиционирования в АПК. Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития: сб. VII Международ. научн.-практ. конф. Омск, 14 апреля 2022 года. Омск: Омский ГАУ имени П. А. Столыпина, 2022. С. 98–103. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48697040 EDN: AJGGFA

8. Демина М. И. Прогнозирование урожайности картофеля. Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2008;(5(10)):47–48.

9. Evgrafov A., Guzalov A., Moskvichev D. Experimental studies of temperature-dynamic properties of peat soils in agricultural lands. E3S Web of Conferences: XI International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development, Termez, Uzbekistan, October 31 – November 02, 2024. Termez, Uzbekistan: EDP Sciences, 2025. Vol. 613. No. 05003.
DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202561305003 EDN: KQAYOQ

10. Vinogradov O. V., Moskvichev D. A., Didmanidze O. N., Parlyuk E. P. Methods of analyzing the structure of the modular car park and the intensity of its operation. Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. 2019;6(3):5289–5292. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.2592821 EDN: XKYYBC

11. Lykhovyd P., Vozhehova R., Zaiets S., Piliarska O. Selecting the best target function to Predict crop yields using their water use through regression analysis. Grail of Science. 2023;(26):185–192.
DOI: https://doi.org/10.36074/grail-of-science.14.04.2023.033 EDN: VWUCFC

12. Van Klompenburg T., Kassahun A., Catal C. Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. Computers and Electronics in Agriculture. 2020;177:105709.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709

13. Chlingaryan A., Sukkarieh S., Whelan B. Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. Computers and Electronics in Agriculture. 2018;151:61–69.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.012

References

1. Belenkov A. I., Mazirov M. A., Zelenev A. V. The relationship between the yield of grain crops and the components of the parameters that affect it. Innovative technologies in breeding, seed production and cultivation of grain crops: problems, achievements and prospects: collection of scientific articles of the International scientific conference, dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences. In 2 vol. Moscow, April 04-05, 2024. Moscow: *FGBNU «FITs «Nemchinovka»*, 2024. pp. 85–90.

2. Yorov Sh. F. Assessment of the use of organic fertilizers on the development and yield of early potatoes. Fundamental and applied scientific research: current issues of modern science, achievements and innovations: collection of scientific articles on the materials of the XIII International scientific-practical conference Ufa, December 15, 2023. Ufa: *OOO «Nauchno-izdatelskiy tsentr «Vestnik nauki»*, 2023. pp. 222–227.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59762917

3. Moskvichev D. A. Improvement of the monitoring system of agricultural machinery. Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists dedicated to the 150th anniversary of the birth of A. J. Milovich. Moscow, June 03-05, 2024. Moscow: RGAU – MSKHA imeni K. A. Timiryazeva, 2024. pp. 535–539.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=PZSLBK&ysclid=mkmhq06fyo360918561

4. Shary P. A., Sharaya L. S., Rukhovich O. V., Shkurkin S. I. Methods of crop production modeling: a review. *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2023;(2):62–70. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26178/AE.2023.42.74.010

5. Moskvichev D. A., Khakimov R. T. Specific aspects of designing ai-based computer programs for control systems of agricultural tractors. *Agro-EkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2024;(4(121)):29–37. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-29-37

6. Bozhenko P. P., Stativko R. U. Brief characteristics of neural networks. realization of the expandable neural network. *Vestnik molodëzhnoy nauki Rossii*. 2019;(5):1. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44496710

7. Narushevich A. L., Boldyr' D. V., Demchuk Ye. V. Analiz sistem global'nogo pozitsionirovaniya v APK. Scientific and technical support of the agro-industrial complex, state and prospects of development: collection of the VII International scientific- practical conference. Omsk, April 14, 2022. Omsk: Omskiy GAU imeni P. A. Stolypina, 2022. pp. 98–103. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48697040

8. Demina M. I. Potato yield forecasting. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta* = Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2008;(5(10)):47–48. (In Russ.).

9. Evgrafov A., Guzalov A., Moskvichev D. Experimental studies of temperature-dynamic properties of peat soils in agricultural lands. E3S Web of Conferences: XI International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development, Termez, Uzbekistan, October 31 – November 02, 2024. Termez, Uzbekistan: EDP Sciences, 2025. Vol. 613. No. 05003. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202561305003 EDN: KQAYOQ

10. Vinogradov O. V., Moskvichev D. A., Didmanidze O. N., Parlyuk E. P. Methods of analyzing the structure of the modular car park and the intensity of its operation. Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. 2019;6(3):5289–5292. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.2592821 EDN: XKYYBC

11. Lykhovyd P., Vozhehova R., Zaiets S., Piliarska O. Selecting the best target function to Predict crop yields using their water use through regression analysis. Grail of Science. 2023;(26):185–192. DOI: https://doi.org/10.36074/grail-of-science.14.04.2023.033 EDN: VWUCFC

12. Van Klompenburg T., Kassahun A., Catal C. Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. Computers and Electronics in Agriculture. 2020;177:105709. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709

13. Chlingaryan A., Sukkarieh S., Whelan B. Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. Computers and Electronics in Agriculture. 2018;151:61–69. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.012

Сведения об авторе

✉ **Москвичев Дмитрий Александрович**, кандидат техн. наук, старший преподаватель кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», ул. Тимирязевская, д. 49, г. Москва, Российская Федерация, 127434, e-mail: rector@rgau-msha.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0009-0002-7082-4876**, e-mail: moskvichev@rgau-msha.ru

Information about the author

✉ **Dmitry A. Moskvichev**, PhD in Engineering, Senior Lecturer, the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya st., 49, Moscow, Russian Federation, 127434, e-mail: rector@rgau-msha.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0009-0002-7082-4876**, e-mail: moskvichev@rgau-msha.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.230–239
УДК 631.331.8

Результаты исследования бороздовскрывателя дернинной сеялки, оборудованного демпферными устройствами

© 2026. С. Л. Дёмшин✉, М. В. Симонов, К. С. Дёмшин
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Предложена конструкция бороздовскрывателя дернинной сеялки с фрезами, оснащённого демпферно-предохранительным устройством (патент РФ № 2814067), которое позволяет эффективно сглаживать ударные нагрузки на привод при входе ножей в почву и отключать его при встрече ножей фрез с препятствиями. Цель исследований – оценка эффективности функционирования фрезерного бороздовскрывателя с демпферными устройствами, предварительное определение рациональных параметров и режимов работы демпферов бороздовскрывателя. Для проведения опытов в почвенном канале изготовлена лабораторная установка, выполненная в виде отдельной секции бороздовскрывателя дернинной сеялки с приводом от электродвигателя. В ходе сравнительных исследований серийного бороздовскрывателя сеялок СДК и бороздовскрывателя, оснащённого демпферными устройствами, выявлено, что применение демпферов в конструкции дисковых фрез снижает энергоемкость фрезерования на 16,6–32,3 % по сравнению с работой серийного рабочего органа, причем больший эффект отмечен в интервале частот вращения фрез 270–385 мин$^{-1}$. В процессе изучения влияния параметров и режима работы демпферов дисковых фрез на энергоемкость фрезерования бороздовскрывателем посредством планирования эксперимента установлено, что минимальное значение потребляемой бороздовскрывателем мощности равное 2,55 кВт соответствует следующим значениям факторов: частоте вращения фрез 336 мин$^{-1}$; суммарной жесткости пружин демпфера 89,4 Н/мм; поступательной скорости 0,7 м/с. Результаты исследований подтвердили данные компьютерного моделирования и выявили существенное снижение энергоемкости фрезерования при использовании демпферов в конструкции дисковых фрез бороздовскрывателя.

Ключевые слова: *дисковые фрезы, пружина демпфера, энергоемкость фрезерования, частота вращения, жесткость пружины, скорость движения*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0002).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дёмшин С. Л., Симонов М. В., Дёмшин К. С. Результаты исследования бороздовскрывателя дернинной сеялки, оборудованного демпферными устройствами. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):230–239. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.230-239

Поступила: 25.10.2025 Принята к публикации: 12.02.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Results of the study of a sod seeder furrow opener equipped with damping devices

© 2026. Sergey L. Demshin✉, Maksim V. Simonov, Konstantin S. Demshin
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

Proposed a design for a sod seeder furrow opener equipped with cutters and a damper-safety device (RF Patent No. 2814067) which effectively smooths out shock loads on the drive when the cutter blades enter the soil and switches it off when the cutter blades encounter obstacles. The purpose of the research was to evaluate the efficiency of the milling furrow opener with damper devices and to preliminarily determine the rational parameters and operating modes of the furrow opener dampers. To conduct experiments in a soil channel, a laboratory installation was made in the form of a separate section of a sod seeder furrow opener with a drive from an electric motor. In the course of comparative studies of the serial furrow opener of SDK seeders and the furrower equipped with damper devices, it was revealed that the use of dampers in the design of disc cutters reduces the energy consumption of milling by 16.6–32.3% compared with the operation of the serial working body, with a greater effect noted in the range of rotation frequencies of cutters from 270 to 385 min^{-1}. In the process of studying the influence of the parameters and operating mode of the dampers of disk cutters on the energy consumption of milling with a furrow opener through the planning of the experiment, it was revealed that the minimum value of the power consumed by the furrow opener equal to 2.55 kW corresponds to the following values of the factors: the rotational frequency of the cutters of 336 min^{-1}, the total stiffness of the damper springs of 89.4 N/mm, the traveling speed of 0.7 m/s. The research results confirmed the data from computer modeling and revealed a significant reduction in the energy consumption of milling when using dampers in the design of disc cutters of the furrow cutter.

Keywords: *disc cutters, damper spring, milling energy consumption, rotational frequency, spring stiffness, traveling speed*

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0002).

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

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

For citations: Demshin S. L., Simonov M. V., Demshin K. S. Results of the study of a sod seeder furrow opener equipped with damping devices. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):230–239. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.230-239

Received: 25.10.2025 Accepted for publication: 27.02.2026 Published online: 27.02.2026

Уровень развития сельскохозяйственного машиностроения в совокупности с внедрением технологий искусственного интеллекта (ИИ) в сельское хозяйство обусловил возможность перехода средств механизации почвообработки и посева уже в ближайшем будущем на новый уровень, соответствующий требованиям точного земледелия[1] [1]. Применение ИИ для оптимального управления технологическими процессами при возделывании с.-х. культур обуславливает создание машинно-тракторных агрегатов (МТА), включающих автоматизированные тяговые средства и сельскохозяйственные агрегаты, конструкции которых как в целом, так и их рабочих органов в отдельности, позволяют подстраивать эксплуатационные характеристики (тяговое сопротивление, ширина захвата, глубина обработки и т. д.) под агротехнические требования непосредственно в процессе по результатам экспресс-анализа сложившихся в данный момент времени почвенных и погодных условий [2, 3, 4, 5]. Возможный баланс между улучшением эксплуатационно-технологических характеристик при усложнении конструкций сельскохозяйственных машин (СХМ) и экономической эффективности их практического применения пока не вполне ясен, но с течением времени он будет стремится к созданию почвообрабатывающих машин и их рабочих органов, адаптирующихся под требования агротехники и условия эксплуатации с целью достижения максимально возможного качества обработки при оптимуме затрат энергии.

Одним из перспективных направлений при создании почвообрабатывающих органов с автоматической системой управления является использование в их конструкции упругих (пружинных) стоек или кронштейнов крепления на амортизирующих втулках, что позволяет за счет генерирования вынужденных колебаний снизить тяговое сопротивление, а также оперативно изменять их характеристики путем регулирования жесткости упругих элементов. Интенсификация обработки почвы посредством применения рабочих органов, совершающих вынужденные колебания за счёт изменения внешних факторов (сопротивления почвы, скорости движения, глубины обработки и т. д.), позволяет использовать затрачиваемую энергию более эффективно, аккумулируя и концентрируя ее при преодолении пиковых нагрузок. Использование культиваторных лап на упругих стойках снижает энергоемкость почвообработки на 25–30 % по сравнению с жестким вариантом крепления [6, 7, 8, 9].

Применительно к почвообрабатывающим дисковым фрезам данный метод заключается в креплении их Г-образных ножей через амортизирующие втулки или установке ножей на пружинных креплениях, но эти конструкции не нашли широкого применения вследствие низкой надежности и сложности конструкции [10, 11]. Развитие машиностроения позволило по-новому рассмотреть этот вопрос, поэтому в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока предложена конструкция бороздовскрывателя дернинной сеялки с фрезами, оснащенными демпферно-предохранительными устройствами (патент РФ № 2814067), наличие которых позволяет эффективно сглаживать ударные нагрузки на привод при входе ножей в почву и отключать его при встрече ножей фрез с препятствиями при полосной обработке дернины [12].

Цель исследования – оценка эффективности функционирования фрезерного бороздовскрывателя дернинной сеялки с дисковыми фрезами, оснащенными демпферными устройствами, и предварительное определение параметров и режимов работы демпферов бороздовскрывателя, при которых их работа наиболее эффективна.

Новизна работы – в ходе исследований фрезерного бороздовскрывателя дернинной сеялки с дисковыми фрезами, оснащенными демпферными устройствами, получены данные, подтверждающие эффективность применения демпферов в конструкции дисковых фрез, а также предварительно определены рациональные значения их основных параметров.

[1]Труфляк Е. В., Курченко Н. Ю., Тенеков А. А., Якушев В. В., Борисенко И. Б., Машков С. В. и др. Точное сельское хозяйство: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 512 с.

Материал и методы. В ходе предыдущих исследований с помощью разработанной *3D*-модели выходного вала привода бороздовскрывателя с двумя дисковыми фрезами, оснащенными демпферами, проведено компьютерное моделирование процесса фрезерования почвы. В его процессе реализовано планирование эксперимента для определения области параметров и режимов работы демпферов дисковых фрез, в которой их работа наиболее эффективна, т. е. наблюдается максимальное снижение пиковых значений и сокращение амплитуды потребляемого крутящего момента. Данные процессы являются основным эффектом применения демпферных устройств, позволяющих снизить силовые характеристики механизма трансмиссии и, как следствие, её металлоемкость. Зона эффективной работы демпферов соответствует значениям факторов: суммарной жесткости пружин c = 90–120 Н/мм, частоте вращения n = 380–500 мин$^{-1}$, числу ножей z = 3 шт., скорости движения $V_{пост}$ = 1,1 м/с. При этом снижение максимальной (пиковой) величины потребляемого крутящего момента M_{2max} относительно нагрузочного момента M стабильно и при частоте вращения n = 440 мин$^{-1}$ составляет 39,5–41,2 %. Минимальное значение амплитуды момента dM_2 = 0,41 Н·м соответствует максимальной частоте вращения n = 500 мин$^{-1}$ и суммарной жесткости пружин демпфера c = 90 Н/мм [13].

Первым этапом исследований являлось подтверждение результатов компьютерного моделирования по косвенному показателю выполнения операции – энергоемкости фрезерования, и оценка эффективности внедрения демпферов в конструкцию дисковых фрез, проведенного в виде сравнительных испытаний бороздовскрывателя с демпферными механизмами и серийного бороздовскрывателя дернинной сеялки СДК (рис. 1).

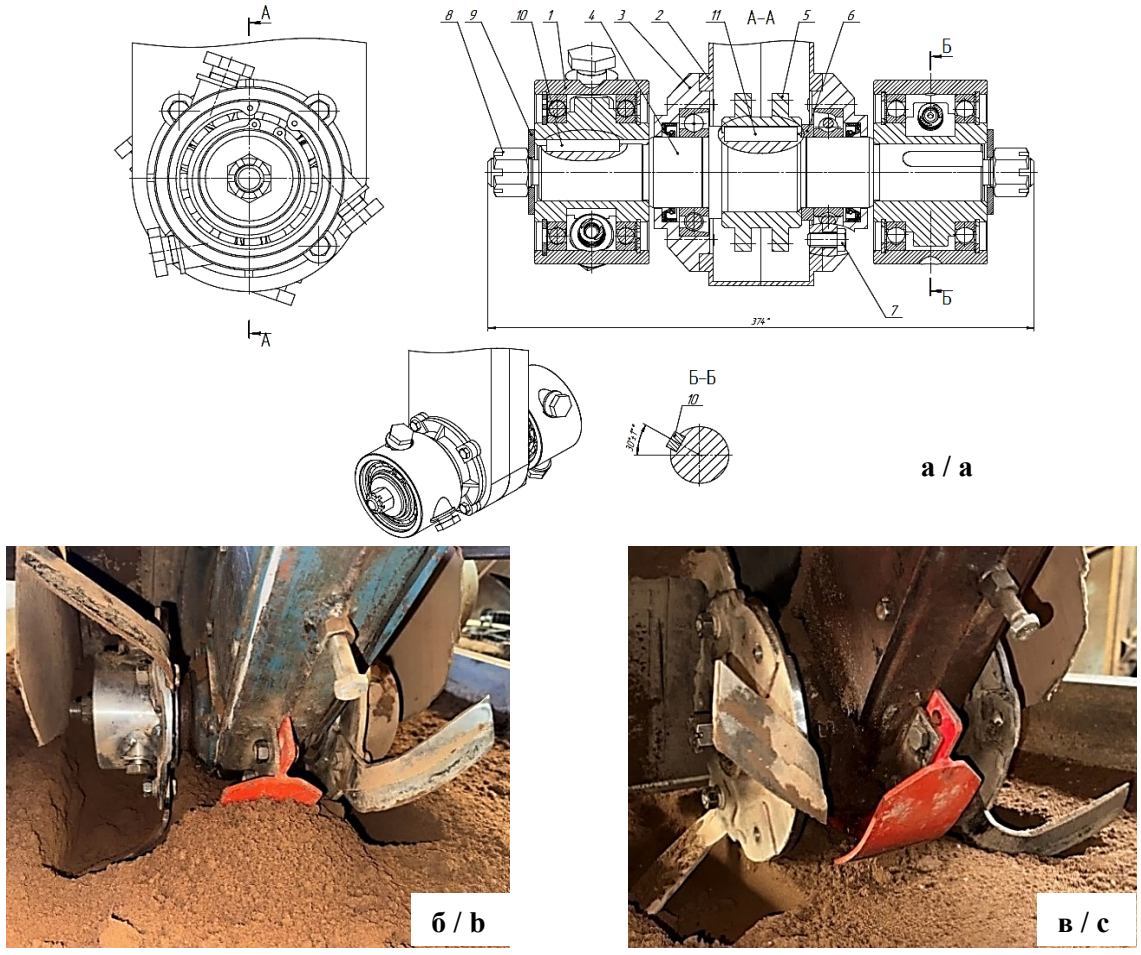
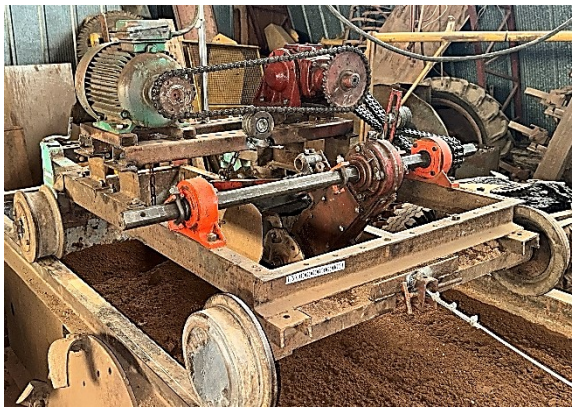


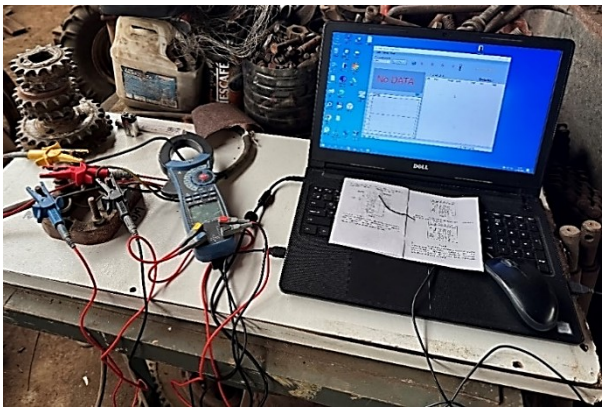
Рис. 1. **Сборочный чертеж бороздовскрывателя, оснащенного демпферными устройствами (дисковые фрезы условно не показаны) (а), ее общий вид (б) и общий вид серийной дисковой фрезы сеялки СДК (в): 1, 9 – втулки демпфера внешняя и внутренняя; 2 – корпус привода; 3 – крышка; 4 – вал; 5 – звездочка цепной передачи; 6 – кольцо; 7 – болт; 8 – гайка; 10, 11 – шпонка /**

Fig. 1. **Assembly drawing of a furrow opener equipped with damping devices (disc cutters are not shown) (a), its general view (b) and general view of a serial disc cutter of the SDK seeder (c): 1, 9 – external and internal damper bushings; 2 – drive housing; 3 – cover; 4 – shaft; 5 – sprocket; 6 – ring; 7 – bolt; 8 – screw; 10, 11 – dowel**

Для проведения опытов в почвенном канале изготовлена лабораторная установка, выполненная в виде отдельной секции фрез дернинной сеялки СДК (рис. 2, а), привод которой осуществлялся от электродвигателя посредством цепных передач, кинематическая схема которой за счет сменных звездочек позволяет исследовать работу демпферов в диапазоне частоты вращения фрез от 273 до 508 мин$^{-1}$. Приводная станция канала имеет возможность ступенчатого изменения поступательной скорости тележки в пределах 0,5–3,0 м/с за счет изменения передаточного отношения между мотор-редуктором и тросовым барабаном посредством коробки передач и набора сменных звездочек цепной передачи.



а / a



б / b

Рис. 2. **Общий вид лабораторной установки при изучении опытного образца бороздовскрывателя (а), приборы для определения энергоемкости фрезерования (б) /**

Fig. 2. **General view of the laboratory setup for studying the prototype of a furrow opener (a) and devices for determining the energy consumption of milling (b)**

Глубина фрезерования устанавливается изменением положения секции привода относительно направляющих почвенного канала, который заполнен смесью среднесуглинистой почвы и песка. Придание почве заданных параметров проводили после прохода установки путем разравнивания и уплотнения посредством катка до среднего значения замеров, показываемых микропенетрометром МВ-2, равных 16–18 мм, что соответствует твёрдости почвы 1,20–1,35 МПа согласно показаниям твердомера Ревякина. Это вызвано менее трудоемким процессом замеров показателей почвы при ее подготовке к проведению опытов, а также более точным определением значений твердости почвы в ее поверхностном слое

Эффективность работы бороздовскрывателей оценивали по энергоемкости фрезерования *N*, кВт путем фиксации активной потребляемой мощности электродвигателя привода фрез с помощью прибора DT-3353, за исключением величины холостого хода привода установки (рис. 2, б). Схема прибора обеспечивает фиксацию результатов измерений в виде массива данных в программе *EXCEL* с дискретностью два измерения в секунду при погрешности не более ±3 %. Значение холостого хода фиксировали для каждого опыта, и при расчете среднего значения *N* вычиталось из значения потребляемой мощности. Опыты проводили в трехкратной повторности.

По итогам сравнительных исследований принято решение о возможности предварительного определения рациональных значений конструктивно-технологических параметров демпферов бороздовскрывателя посредством изучения их влияния на энергоемкость фрезерования *N*, кВт. В ходе второго этапа опытов реализован трехуровневый план Бокса-Бенкина, в котором изучено влияние частоты вращения n (x_1), мин$^{-1}$, фрез, поступательной скорости $V_{пост}$ (x_2), м/с и жёсткости пружин·демпферов c (x_3), Н/мм, на энергоемкость фрезерования в виде активной мощности N ($У$), кВт, потребляемой бороздовскрывателем (табл. 1).

В сравнительных исследованиях изучено применение бороздовскрывателя сеялки СДК и бороздовскрывателя с двумя фрезами, оснащенными демпферами с двумя пружинами суммарной жесткостью c = 60,0 Н/мм. Дисковые фрезы бороздовскрывателей оборудованы одинаковыми Г-образными ножами шириной захвата 110 мм в количестве трех штук. Условия проведения опытов: установочная глубина обработки – 100 мм, поступательная скорость – 0,7 м/с, параметры почвы: влажность – 16,3 %, плотность – 2,42 г/см^3, твёрдость в слое до 10 см – 1,34 МПа.

Таблица 1 – **Факторы, уровни и интервалы варьирования /**
Table 1 – **Factors, levels and intervals of their variation**

Наименование / Name	*Код фактора / Factor code*	*Уровни факторов / Levels of factors*			*Интервал / Interval*
		нижний / lower («-1»)	*основной / main («0»)*	*верхний / top («+1»)*	
Частота вращения n, мин$^{-1}$ / Rotational speed n, min^{-1}	x_1	270	385	500	115
Скорость движения $V_{пост}$, м/с / Movement speed V_{post}, m/s	x_2	0,70	0,85	1,0	0,15
Жёсткость пружины·c, Н/мм / Spring stiffness·c, N/mm	x_3	30	60	90	30

В ходе планирования эксперимента жёсткость демпферов опытного образца бороздовскрывателя регулировалась изменением числа пружин. Для демпферных механизмов использован комплект однотипных пружин из шести штук. Жёсткость пружин имеет незначительный разброс значений от 30,9 до 31,8 Н/мм, что позволило сделать допущение, что в демпферах фрез использованы пружины жесткостью c = 30 Н/мм. Условия проведения идентичны условиям сравнительных испытаний.

Результаты и их обсуждение. В ходе сравнительных исследований проведено по пять опытов в трехкратной повторности для каждого типа бороздовскрывателя. Данные обработаны, получены средние значения потребляемой мощности N для каждого опыта (табл. 2) и по ним построены графики зависимости $N = f(n)$ (рис. 3).

Таблица 2 – **Результаты сравнительных исследований фрезерных бороздовскрывателей** /
Table 2 – **Results of comparative research of milling furrow openers**

№ опыта / No. of the experiment	*Частота вращения n, мин$^{-1}$ / Rotation speed n, min^{-1}*	*Мощность, потребляемая бороздовскрывателем N, кВт / Power consumption of the furrow opener N, kW*	
		серийный / serial	*опытный образец / experimental*
1	273	3,33	2,71
2	347	4,04	2,73
3	382	3,61	2,79
4	449	4,44	3,57
5	508	5,11	4,26

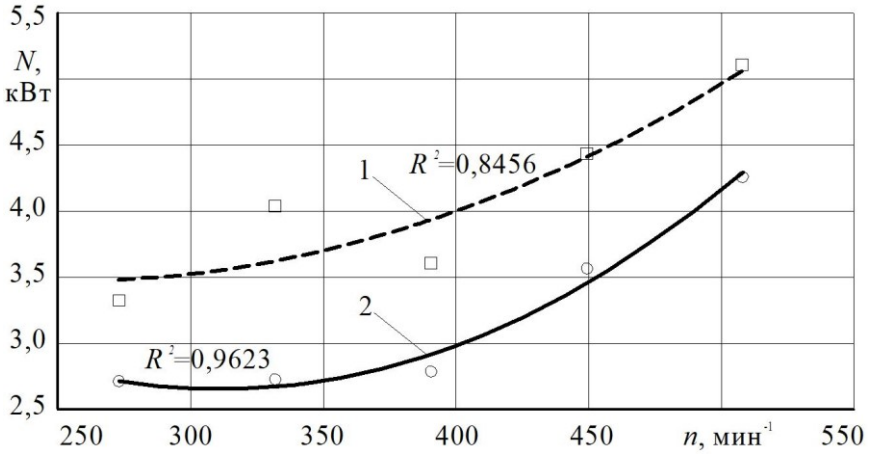


Рис. 3. **Графики зависимости потребляемой мощности *N*, кВт серийным бороздовскрывателем (1) и бороздовскрывателем с демпферными устройствами (2) от частоты вращения *n*, мин$^{-1}$ дисковых фрез /**
Fig. 3. **Graphs of the dependence of the power consumption *N*, kW by a serial furrower (1) and a furrower with damping devices (2) on the rotation speed *n*, min^{-1} of disc cutters**

Анализ результатов сравнительных исследований серийного бороздовскрывателя сеялок СДК и бороздовскрывателя, оснащённого демпферными устройствами, выявил, что характер изменения потребления мощности приводом обоих рабочих органов при повышении частоты вращения фрез имеет схожую картину. С ростом частоты вращения от 273 до 508 мин$^{-1}$ повышение энергоемкости фрезерования для обоих рабочих органов имеет схожую картину и составляет 39,9 % для серийного и 45,1 % – для модернизированного бороздовскрывателя, при этом на участке частот вращения 382–508 мин$^{-1}$ характер изменений практически одинаков. Применение демпферов в конструкции дисковых фрез снижает энергоемкость фрезерования на 16,6–32,3 % по сравнению с работой серийного рабочего органа, больший эффект отмечен при меньших частотах вращения фрез.

Оценивая результаты параллельно проведенных сравнительных исследований работы отдельных дисковых фрез с работой бороздовскрывателей, конструкция которых включает две дисковые фрезы, установленные на валу с равным смещением ножей, следует отметить, что несмотря на некоторое отличие в режимах работы при осуществлении опытов: для отдельной фрезы ($V_{пост}$ = 0,85 м/с, $c_{общ}$ = 90 Н/мм (3 пружины)) и для бороздовскрывателя ($V_{пост}$ = 0,70 м/с, $c_{общ}$ = 60 Н/мм (2 пружины)) выявлено существенное снижение энергоемкости фрезерования на 24,3–35,7 % при установке второй фрезы как на серийный бороздовскрыватель, так и бороздовскрыватель с демпферными устройствами, в сравнении механическим сложением мощности, необходимой для работы двух дисковых фрез. Это подтверждает наличие эффекта от совместного движения дисковых фрез, заключающегося в последовательном чередовании и разнесении во времени входов в почву Г-образных ножей разноименных фрез, снижающего амплитуду колебаний пиковых значений усилия резания.

Принимая во внимание методику построения поверхностей отклика при планировании эксперимента, необходимо учитывать сглаживание результатов при выходе из области эффективной работы демпферов, поэтому при их анализе рекомендуется проводить сопоставление с числовыми значениями критерия оптимизации, полученными опытным путем (табл. 3).

Таблица 3 – **Матрица плана эксперимента и значений мощности, потребляемой опытным образцом бороздовскрывателя /**

Table 3 – **Matrix of the experimental plan and values of power consumed by the experimental furrow opener model**

№ опыта / No. of the experiment	*Значение (уровень) фактора / Value (level) of the factor*			*Значение критерия оптимизации / Value of the optimization criterion*	
	частота вращения n (x_1), мин$^{-1}$ / rotation speed n (x_1), min^{-1}	*скорость движения $V_{пост}$ (x_2), м/с / movement speed V_{post} (x_2), m/s*	*жёсткость пружины·с (x_3), Н/мм / spring stiffness c (x_3), N/mm*	*полная потребляемая мощность $N_п$, кВт / total power consumption N_p, kW*	*потребляемая мощность без холостого хода N (У), кВт / power consumption without idling N (Y), kW*
1	500 («1»)	1,0 («+1»)	60 («0»)	8,1	6,72
2	385 («0»)	0,85 («0»)	60 («0»)	4,76	3,56
3	270 («-1»)	0,70 («0»)	90 («+1»)	3,92	2,84
4	385 («0»)	1,0 («+1»)	90 («+1»)	4,91	3,68
5	385 («0»)	0,70 («-1»)	90 («+1»)	3,82	2,67
6	385 («0»)	0,85 («0»)	60 («0»)	4,16	2,96
7	500 («+1»)	0,85 («0»)	30 («-1»)	6,50	5,00
8	270 («-1»)	0,70 («-1»)	60 («0»)	4,09	2,74
9	385 («0»)	0,85 («0»)	60 («0»)	4,55	3,35
10	270 («-1»)	0,85 («0»)	30 («-1»)	3,90	2,82
11	385 («0»)	0,70 («-1»)	30 («-1»)	4,31	3,02
12	500 («+1»)	0,70 («-1»)	60 («0»)	5,73	4,26
13	385 («0»)	1,0 («+1»)	30 («-1»)	4,95	3,72
14	270 («-1»)	1,0 («+1»)	60 («0»)	3,97	2,92
15	500 («+1»)	0,85 («0»)	90 («+1»)	6,64	5,23

Данные обработаны с помощью программ *Microsoft Excel* и *Statgrafics Plus 5.1*, удалены незначимые факторы и получено уравнение регрессии, проверенное на адекватность по *F*-критерию Фишера (вероятность $p = 0,95$):

$$У = 3,3423 + 1,2363 \cdot x_1 + 0,5438 \cdot x_2 + 0,570 \cdot x_1x_2 + 0,7785 \cdot x_1^2 – 0,1091 \cdot x_3^2.$$

Согласно уравнению регрессии построены трёхмерные поверхности отклика зависимости изменения мощности N ($У$), потребляемой бороздовскрывателем при фрезеровании, от варьирования значений исследуемых факторов: частоты вращения n (x_1) фрез; поступательной скорости $V_{пост}$ (x_2) бороздовскрывателя; жёсткости пружин·c (x_3) демпферов (рис. 4).

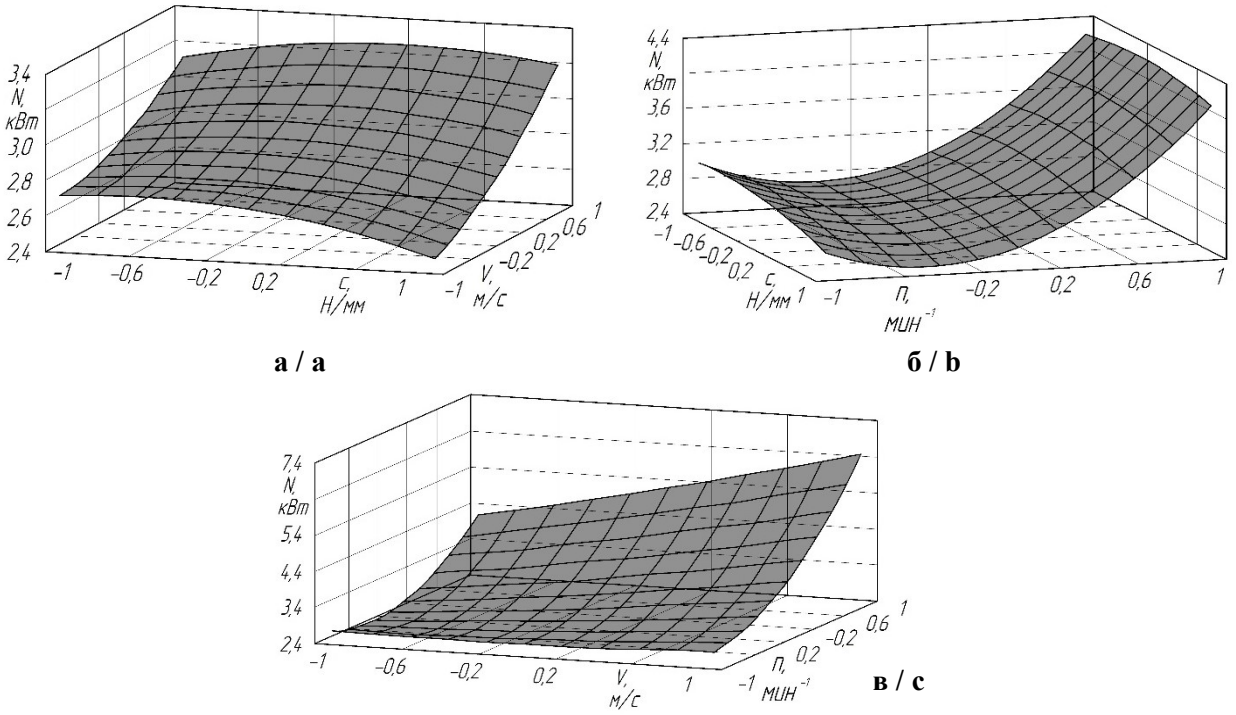


Рис. 4. **Влияние частоты вращения n (x_1), мин$^{-1}$, фрезы, поступательной скорости $V_{пост}$ (x_2), м/с и жёсткости пружин·c (x_3), Н/мм на мощность N ($У$), кВт, потребляемую бороздовскрывателем, при уровнях факторов: а – n = 336 мин$^{-1}$ (x_1 = -0,43); б – $V_{пост}$ = 0,7 м/с (x_2 = –1); в – c = 89,4 Н/мм (x_3 = -0,98) /**

Fig. 4. **The influence of the rotation speed n (x_1), min^{-1}, of the milling cutter, the forward speed V_{post} (x_2), m/s, and the springs stiffness c (x_3), N/mm, on the power N (Y), kW, consumed by the furrow opener, at the levels of factors: a – n = 336 min^{-1} (x_1 = -0.43); b – V_{post} = 0.7 m/s (x_2 = –1); c – c = 89.4 N/mm (x_3 = -0.98)**

При анализе результатов эксперимента необходимо учитывать, что в отличие от компьютерного моделирования эксперименты проведены с учетом имеющегося оборудования с фиксацией и анализом по косвенному, относительно задачи работы демпфера, заключающейся в снижении пиковых значений и амплитуды крутящего момента, потребляемого бороздовскрывателем, признаку – энергоемкости фрезерования. Поэтому оптимальные области исследуемых факторов могут не совпадать и о снижении пиковых значений крутящего момента по ним нельзя сделать окончательное заключение. В целом, результаты опыта подтверждают ранее полученные данные о существенном влиянии на величину критерия оптимизации частоты вращения n и поступательной скорости $V_{пост}$ фрез [14]. Причём в отличие от результатов компьютерного моделирования процесса фрезерования варьирование жёсткости пружин c, в исследуемом интервале значений фактора, не оказывает влияния на энергоемкость бороздообразования N, что скорее всего вызвано вышеперечисленными причинами.

Максимальное снижение энергоемкости фрезерования почвы бороздовскрывателем дернинной сеялки наблюдали в зоне частоты вращения n, соответствующем уровню x_2 = -0,43, наибольшей суммарной жесткости пружин c

(x_3 = -0,98) и минимальной скорости движения $V_{пост}$ (x_2 = -1). В этом случае потребляемая бороздовскрывателем мощность N = 2,55 кВт соответствует следующим натуральным значениям факторов: n = 336 мин$^{-1}$, c = 89,4 Н/мм, $V_{пост}$ = 0,7 м/с. Решение компромиссной задачи по скорости движения $V_{пост}$ фрез определяется тем, что любое снижение скорости бороздовскрывателя ограничено прямо пропорциональным уменьшением производительности сеялки и минимум данного параметра необходимо закладывать на стадии технического задания (ТЗ). Согласно опытным данным, жёсткость пружин c демпфера минимально влияет на энергоемкость фрезерования N, поэтому значения жесткости пружин c демпфера рационально выбирать исходя из меньшей амплитуды колебаний величины сжатия пружин, которая присуща более жестким пружинам. При этом надо учитывать то, что энергоемкость N фрезерования описывает итоговый результат выполнения рабочего процесса, не раскрывая причинно-следственной связи, приводящей к нему, что требует проведения дополнительных исследований с использованием динамометрических устройств для более детального изучения динамики работы демпферов бороздовскрывателя дисковых фрез.

В заключение необходимо отметить, несмотря на то, что оценка эффективности, изучение влияния параметров и режима работы демпферов на энергоемкость фрезерования бороздовскрывателем дернинной сеялки проведены по косвенному показателю эффективности работы демпферных устройств – мощности, потребляемой рабочим органом, результаты исследований опосредованно подтвердили данные компьютерного моделирования и выявили существенное снижение (17–32 %) энергоемкости фрезерования при использовании демпферов в конструкции его дисковых фрез. Анализ результатов экспериментальных исследований и конструкционно-технологической схемы демпферов дисковых фрез позволяет сделать предположение о том, что характер их функционирования в некоторой степени аналогичен работе упругих стоек культиваторных лап при обработке почвы, которые посредством генерирования вынужденных колебаний обеспечивают снижение тягового сопротивления рабочих органов на 25–30 % по сравнению с жестким креплением [15].

Выводы. 1. Сравнительные исследования серийного бороздовскрывателя сеялок СДК и бороздовскрывателя, оснащённого демпферными устройствами, показали, что применение демпферов в конструкции дисковых фрез снижает энергоемкость фрезерования на 16,6–32,3 % по сравнению с работой серийного рабочего органа, причем бóльший эффект отмечен в интервале частот вращения фрез n = 270–385 мин$^{-1}$.

2. В ходе исследований влияния параметров и режима работы демпферов дисковых фрез на энергоемкость фрезерования бороздовскрывателем дернинной сеялки выявлено, что минимальное значение потребляемой бороздовскрывателем мощности, равное N = 2,55 кВт, соответствует следующим значениям факторов: частоте вращения фрез n = 336 мин$^{-1}$, суммарной жесткости пружин демпфера c = 89,4 Н/мм, поступательной скорости $V_{пост}$ = 0,7 м/с. Решение компромиссной задачи по скорости движения $V_{пост}$ бороздовскрывателя определяется прямо пропорциональным снижением производительности сеялки. Жёсткость пружин c демпфера минимально влияет на энергоемкость фрезерования N, поэтому ее значения рационально выбирать исходя из меньшей амплитуды колебаний величины сжатия пружин, которая присуща более жестким пружинам.

Список литературы

1. Гольтяпин В. Я., Мишуров Н. П., Федоренко В. Ф., Соловьев С. А., Балабанов В. И., Алдошин Н. В. Инновационные технологии и сельскохозяйственная техника за рубежом: аналитический обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 172 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=44560439 EDN: XJHKQG

2. Shamshiri R. R., Weltzien C., Hameed I. A., Yule I. J., Grift T. E., Balasundram S. K. et al. Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2018;11(4):1–14. DOI: http://dx.doi.org/10.25165/j.ijabe.20181103.4278

3. Елизаров В. П., Артюшин А. А., Ценч Ю. С. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники. Вестник ВИЭСХ. 2018;(2(31)):12–18.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35431646 EDN: UWTJTH

4. Мишуров Н. П., Кондратьева О. В., Гольтяпин В. Я., Федоренко В. Ф., Федоров А. Д., Слинько О. В. и др. Зарубежный опыт цифровизации сельского хозяйства: аналитический обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 224 с.

5. Загазежева О. З., Край К. Ф. Проблемы и перспективы внедрения роботизированных и интеллектуальных технологий в растениеводство. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021;(6(104)):95–104. DOI: https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-6-104-95-104 EDN: WXLZCP

6. Чаткин М. Н., Федоров С. Е. Исследование упругих стоек культиватора. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018;(71):117–122. DOI: https://doi.org/10.21515/1999-1703-71-117-122 EDN: OWWXEO

7. Мазитов Н. К. Ресурсосберегающие почвообрабатывающие машины. Казань: ГУП «Полиграфическо-издательский комбинат», 2003. 456 с.

8. Кокошин С. Н., Ташланов В. И. Способ стабилизации глубины обработки почвы культиваторами с упругими стойками. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020;(6(86)):120–124. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=44385006 EDN: BJECFT

9. Радин С. Ю., Бунеев С. С., Шубкин С. Ю., Елецких С. В. Повышение надежности и эффективности функционирования культиваторов со стойками S-образной формы. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022;(8(214)):108–114. DOI: https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-214-8-108-114 EDN: KEILJV

10. Далин А. Д., Павлов П. В. Ротационные грунтообрабатывающие и землеройные машины. М.: Машгиз, 1950. 258 с.

11. Bernacki H., Haman J., Kanafoiski Cz. Agricultural Machines, Theory and Construction. Washington, D. C., 1972. Vol. 1. 883 p.

12. Симонов М. В., Дёмшин С. Л., Чупраков П. Г., Исупов А. Ю., Дёмшин К. С. Сеялка полосного посева. Пат. № 2814067 Российская Федерация. № 2023119352; заявл. 21.07.2023; опубл. 21.02.2024. Бюл. №6. 13 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_64606703_57283456.PDF

13. Демшин С. Л., Исупов А. Ю., Демшин К. С., Мансуров А. П. Исследование фрезерного бороздовскрывателя дернинной сеялки, оборудованного демпферным устройством, посредством компьютерного моделирования. Вестник НГИЭИ. 2025;(9(172)):7–21. DOI: https://doi.org/10.24412/2227-9407-2025-9-7-21 EDN: XCTUDU

14. Demshin S., Saitov V., Simonov M., Zyryanov D., Demshin K. Determination of the parameters of the damper device of the milling furrow opener of the sod seeder. E3S Web of Conferences. 2025;623:04027. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453902028

15. Федоров С. Е., Чаткин М. Н., Костин А. С., Колесников Н. В. Исследование упругой S-образной стойки комбинированного культиватора. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015;(3):7–10. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24415487 EDN: UOHJVX

References

1. Goltyapin V. Ya., Mishurov N. P., Fedorenko V. F., Solovev S. A., Balabanov V. I., Aldoshin N. V. I nnovative technologies and agricultural machinery abroad. Moscow: *FGBNU «Rosinformagrotekh»*, 2020. 172 p. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=44560439

2. Shamshiri R. R., Weltzien C., Hameed I. A., Yule I. J., Grift T. E., Balasundram S. K. et al. Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2018;11(4):1–14. DOI: http://dx.doi.org/10.25165/j.ijabe.20181103.4278

3. Elizarov V. P., Artyushin A. A., Tsench Yu. S. Perspective directions of development of national agricultural machinery. *Vestnik VIESKH*. 2018;(2(31)):12–18. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35431646

4. Mishurov N. P., Kondrateva O. V., Goltyapin V. Ya., Fedorenko V. F., Fedorov A. D., Slinko O. V. et al. Foreign experience of digitalization of agriculture: an analytical review. Moscow: *FGBNU «Rosinformagrotekh»*, 2022. 224 p.

5. Zagazezheva O. Z., Kray K. F. Problems and prospects of introducing robotic and intelligent technologies in crop production. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* = Izvestia of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov. 2021;(6(104)):95–104. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-6-104-95-104

6. Chatkin M. N., Fedorov S. E. Investigation of elastic cultivator's racks. *Trudi Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;(71):117–122. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21515/1999-1703-71-117-122

7. Mazitov N. K. Resource-saving tillage machines. Kazan: *GUP «Poligrafichesko-izdatelsky kombinat»*, 2003. 456 p.

8. Kokoshin S. N., Tashlanov V. I. Method for stabilizing the depth of tillage with cultivators with elastic tines. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2020;(6(86)):120–124. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=44385006

9. Radin S. Yu., Buneev S. S., Shubkin S. Yu., Eletskikh S. V. Improving reliability and performance of S-tine cultivators. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2022;(8(214)):108–114. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-214-8-108-114

10. Dalin A. D., Pavlov P. V. Rotary tillage and earthmoving machines. Moscow: *Mashgiz*, 1950. 258 p.

11. Bernacki H., Haman J., Kanafoiski Cz. Agricultural Machines, Theory and Construction. Washington, D. C., 1972. Vol. 1. 883 p.

12. Simonov M. V., Demshin S. L., Chuprakov P. G., Isupov A. Yu., Demshin K. S. Band seeding machine: Patent RF, no. 2814067, 2024. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_64606703_57283456.PDF

13. Demshin S. L., Isupov A. Yu., Demshin K. S., Mansurov A. P. Research of a milling furrower of a sod seeder equipped with a damping device by means of computer modeling. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2025;(9(172)):7–21. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2227-9407-2025-9-7-21

14. Demshin S., Saitov V., Simonov M., Zyryanov D., Demshin K. Determination of the parameters of the damper device of the milling furrow opener of the sod seeder. E3S Web of Conferences. 2025;623:04027. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453902028

15. Fedorov S. E., Chatkin M. N., Kostin A. S., Kolesnikov N. V. Research of elastic S-shaped support stand of the combined cultivator. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2015;(3):7–10. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=24415487

Сведения об авторах

✉ **Дёмшин Сергей Леонидович**, доктор техн. наук, доцент, зав. лабораторией, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7562-7965**, e-mail: sergdemshin@mail.ru

Симонов Максим Васильевич, доктор техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3805-9246**

Дёмшин Константин Сергеевич, аспирант, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7562-7965**

Information about the authors

✉ **Sergey L. Demshin**, DSc in Engineering, head of the laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenina str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7562-7965**, e-mail: sergdemshin@mail.ru

Maxim V. Simonov, DSc in Engineering, senior research, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenina str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3805-9246**

Konstantin S. Demshin, graduate student, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenina str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7562-7965**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.240–250
УДК 631.171

(cc) BY

Изменение концентрации климатически активных веществ в эмиссии от систем переработки различных видов жидкого навоза

© 2026. Э. В. Васильев, В. И. Базыкин, Е. В. Шалавина✉, С. А. Егоров
Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Количество выбросов климатически активных веществ зависит от технологии и режима переработки навоза. Существующие методики для расчета объема выбросов климатически активных веществ основаны на укрупненных коэффициентах, без учета климатических зон и применяемых технологий переработки навоза. Цель исследования – определить концентрации климатически активных веществ в эмиссии в зависимости от систем переработки различных видов жидкого навоза. Исследования проводили на экспериментальной установке с возможностью имитации различных условий переработки твердого и жидкого навоза объемом 0,0625 м³. В качестве исследуемого материала использовали жидкий навоз крупного рогатого скота (КРС), жидкий свиной навоз, жидкая фракция навоза КРС и жидкая фракция свиного навоза. Измерение концентрации CO_2, CH_4, H_2S, и NH_3 осуществляли газоанализатором «ЭЛАН плюс». Концентрацию N_2O определяли в газовом хроматографе «Кристаллюкс-4000М». Концентрация газов в жидком навозе КРС составила: CO_2 – 537–539 мг/м³, CH_4 – 0,02-0,03 %, H_2S – 0,147–0,367 мг/м³, NH_3 – 1,97–4,34 мг/м³, в жидкой фракции навоза КРС следующая: CO_2 – 537–538 мг/м³, CH_4 – 0,02 %, H_2S – 0,367–0,327 мг/м³, NH_3 – 2,53–4,08 мг/м³, в жидком свином навозе – CO_2 – 537–718 мг/м³, CH_4 – 0,02 %, H_2S – 0,12–0,177 мг/м³, NH_3 – 4,69–6,97 мг/м³, в жидкой фракции свиного навоза – CO_2 – 537–592 мг/м³, CH_4 – 0,01-0,02 %, H_2S – 0,08–0,20 мг/м³, NH_3 – 1,57–2,72 мг/м³. Полученные в результате исследования значения концентраций климатически активных веществ при переработке жидкого навоза КРС и жидкой фракции навоза КРС сопоставимы с результатами аналогичных исследований, отличия составляют менее 20 %.

Ключевые слова: *сельское хозяйство, животноводство, системы переработки навоза, концентрации газов*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № FGUN-2025-0010).
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

***Конфликт интересов*:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Васильев Э. В., Базыкин В. И., Шалавина Е. В., Егоров С. А. Изменение концентрации климатически активных веществ в эмиссии от систем переработки различных видов жидкого навоза. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):240–250. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.240-250

Поступила: 24.06.2025 Принята к публикации: 04.02.2026 Опубликована онлайн: 27.02.2026

Variation in concentration of climate-active substances in emissions from different types of liquid manure processing systems

© 2026. Eduard V. Vasilev, Valentin I. Bazykin, Ekaterina V. Shalavina✉, Semen A. Egorov
Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

The amount of climate-active substances emissions depends on the technology and the mode of manure processing. Current methodologies for calculating these emissions are based on aggregated coefficients that do not consider climatic zones or the manure processing technologies in place. The aim of the study was to determine the concentration of climate-active substances in the emissions in dependence to the processing systems of different types of liquid manure. The research was carried out using the experimental unit with a volume of 0.0625 m³ that was designed to simulate the processing of solid and liquid manure under different conditions. As the research material there was used liquid cattle manure, pig liquid manure, and the liquid fractions of both cattle and pig manure. Concentrations of CO_2, CH_4, H_2S, and NH_3 were measured with an ELAN Plus gas analyzer. N_2O concentration was determined in a gas chromatograph "Crystallux-4000M". Concentration of CO_2 in liquid cattle manure was found to be 537–539 mg/m³, CH_4 – 0.02-0.03 %, H_2S – 0.147–0.367 mg/m³, and NH_3 – 1.97–4.34 mg/m³. Concentration of CO_2 in liquid fraction of cattle manure was found to be 537–538 mg/m³, CH_4 – 0.02 %, H_2S – 0.367–0.327 mg/m³, and NH_3 – 2.53–4.08 mg/m³. Concentration of CO_2 in pig liquid manure was found to be 537–718 mg/m³, CH_4 – 0.02 %, H_2S – 0.12–0.177 mg/m³, and NH_3 – 4.69–6.97 mg/m³. Concentration of CO_2 in liquid fraction of pig manure was found to be 537–592 mg/m³, CH_4 – 0.01-0.02 %, H_2S – 0.08–0.20 mg/m³, and NH_3 – 1.57–2.72 mg/m³. The obtained concentrations of climate-active substances in the emission from processing of liquid cattle manure and its liquid fraction were comparable with the results of similar studies. The differences were less than 20 %.

Keywords: *agriculture, animal husbandry, manure processing systems, gas concentrations*

***Acknowledgement*:** the research was supported by 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-2025-0010).

The authors are grateful to reviewers for their contribution to expert assessment of the work.

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

***For citation*:** Vasilev E. V., Bazykin V. I., Shalavina E. V., Egorov S. A. Variation in concentration of climate-active substances in emissions from different types of liquid manure processing systems. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):240–250. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.240-250

Received: 24.06.2025 Accepted for publication: 04.02.2026 Published online: 27.02.2026

Интенсивное производство продукции агропромышленного комплекса, в частности животноводческой продукции, связано с образованием значительных объемов навоза, а также выбросом в атмосферу климатически активных веществ [1, 2]. Эти вещества образуются на каждом технологическом этапе, начиная с момента образования навоза в помещениях для содержания животных и заканчивая внесением полученных удобрений в почву [3, 4].

Для расчета объема выбросов климатически активных веществ используются Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации (далее по тексту – Методические рекомендации[1]), в которых обоснованы три метода расчета: первый – уровня 1; второй – уровня 2; третий – уровня 2 на основе аналитических данных. Первый метод уровня 1 подразумевает укрупненный расчет с учетом коэффициентов по умолчанию (умножение поголовья на коэффициент). Погрешность данного метода может составлять более 50 %. Второй метод уровня 2 подразумевает использование для расчетов исходных данных предприятия (привесы животных, продуктивность, рационы кормления и т. д.). Однако коэффициенты, отражающие технологии переработки навоза, приведены укрупненно для всей территории Российской Федерации без учета климатических зон. Погрешность этого метода составляет до 30 %. Третий метод уровня 2 на основе аналитических данных подразумевает отбор проб воздуха и навоза. Результаты, полученные на основании фактических замеров, имеют наименьшую погрешность – до 20 %.

В зависимости от применяемых технологий и режимов переработки навоза меняется количество выбросов климатически активных веществ, которые влияют на коэффициенты, участвующие в расчетных моделях [5, 6]. Эмиссии этих газов зависят также от рациона кормления животных [7, 8]. Поэтому реальные замеры концентраций газов от навоза при его переработке позволят уточнить коэффициенты, отраженные в указанных Методических рекомендациях, и скорректировать данные, подаваемые от Российской стороны в Национальный доклад[2] о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, нерегулируемых Монреальским протоколом.

Проблема оценки и фактического замера эмиссии парниковых газов актуальна во всем мире, так как эта эмиссия значительно зависит от технологий переработки навоза и помета, режима их работы, химического состава сырья и региона расположения животноводческого комплекса [9].

Для определения концентраций климатически активных веществ от систем переработки навоза применяются различные методы замеров, учитывающие вид навоза (твердый или жидкий) и используемую технологию переработки [10, 11]. В Российской Федерации переработка жидкого навоза в основном осуществляется в открытых гидроизолированных хранилищах. Следовательно, при проведении исследований по замеру концентрации климатически активных веществ целесообразнее использовать динамическую (вентилируемую) камеру, которая наиболее приближена к погодным условиям (ветрам). Методы анализа проб воздуха от различных типов хранилищ тоже отличаются [12].

Цель исследования – определить концентрации климатически активных веществ в эмиссии в зависимости от систем переработки различных видов жидкого навоза.

[1]Распоряжение Минприроды России от 16.04.2015 N 15-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: https://rulaws.ru/acts/Rasporyazhenie-Minprirody-Rossii-ot-16.04.2015-N-15-r/ (дата обращения: 12.05.2025 г.).

[2]Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2020 гг. Москва, 2022. [Электронный ресурс]. URL: http://downloads.igce.ru/kadastr/RUS_NIR-2022_v2.pdf (дата обращения: 12.05.2025).

Задачи исследования:

1. Обоснование конструкции экспериментальной установки для определения концентраций климатически активных веществ при переработке различных видов жидкого навоза.

2. Разработка программы и методики проведения исследований по определению концентраций климатически активных веществ при переработке различных видов жидкого навоза.

3. Проведение экспериментальных исследований по определению концентраций климатически активных веществ в эмиссии от систем переработки различных видов жидкого навоза.

4. Математическая обработка полученных результатов, их анализ и оценка сходимости с результатами аналогичных зарубежных исследований.

Научная новизна – моделирование реальных условий переработки различных видов жидкого навоза путем имитации естественной среды внутри камеры экспериментальной установки с целью определения закономерностей изменения концентраций климатически активных веществ в эмиссии от систем переработки различных видов жидкого навоза с дальнейшей перспективой разработки расчётной модели, учитывающей различные варианты технологий обращения с навозом и позволяющей перейти от полученных в результате исследований концентраций парниковых газов к удельным выбросам, позволяющим уточнить данные Национального доклада о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов нерегулируемых Монреальским протоколом.

Материал и методы. Для определения эмиссии климатически активных веществ использовалась методология, отраженная в указанных выше Методических рекомендациях. Методология подразумевает деление всего навоза на два типа: жидкий и сухой. В качестве граничного значения, разделяющего сухой и жидкий навоз, принимается 20 % содержания сухого вещества: влажность более 80 % – жидкий навоз; менее 80 % – сухой навоз. Однако на многих комплексах крупного рогатого скота (КРС) молочного направления и свиноводческих комплексах применяется блок – разделение исходного навоза на фракции, после которого образуется в том числе и жидкая фракция навоза с влажностью более 80 %, но отличающаяся по своим химическим показателям от исходного. В процессе переработки методом длительного выдерживания, происходит саморазогрев смеси за счет работы микроорганизмов. В зависимости от содержания сухого вещества в жидком навозе скорость саморазогрева имеет разные значения. Соответственно эмиссии климатически активных веществ при переработке исходного навоза и его жидкой фракции будут отличаться. Поэтому для исследования были использованы 4 варианта жидкого навоза: жидкий навоз КРС; жидкий свиной навоз; жидкая фракция свиного навоза (после разделения жидкого свиного навоза на фракции на шнековом сепараторе); жидкая фракция навоза КРС (после разделения жидкого навоза КРС на фракции на шнековом сепараторе). Учитывая, что навоз с комплекса КРС и со свиноводческого комплекса имеет различный химический состав, пробы отбирались с обоих комплексов.

Жидкий навоз для исследований был отобран с животноводческих комплексов, расположенных в Северо-Западном ФО (Ленинградская область). Характеристики исследуемого навоза приведены в таблице 1. Анализ свойств материала выполняли в аналитической лаборатории ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в соответствии с инструкциями к средствам измерения, ГОСТ 26713-85[3], ГОСТ 27980-88[4] и ГОСТ 26715-85[5]. Объем материала соответствовал объему нижней камеры установки – 0,0625 м^3.

Исследования проводили на экспериментальной установке, разработанной в 2024 году в ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (рис. 1).

Установка состоит из рамы 1, емкости для слива жидкого материала 2, герметичной камеры 3, входного и выходного воздуховодов 4, 5. Герметичная камера включает в себя верхнюю часть объемом 0,0625 м^3 (каркас из нержавеющих труб, обшитый прозрачным акрилом) и нижнюю часть объемом 0,0625 м^3 (накопитель из нержавеющей стали). На дне накопителя установлен сливной затвор для слива жидкого материала в специальную емкость.

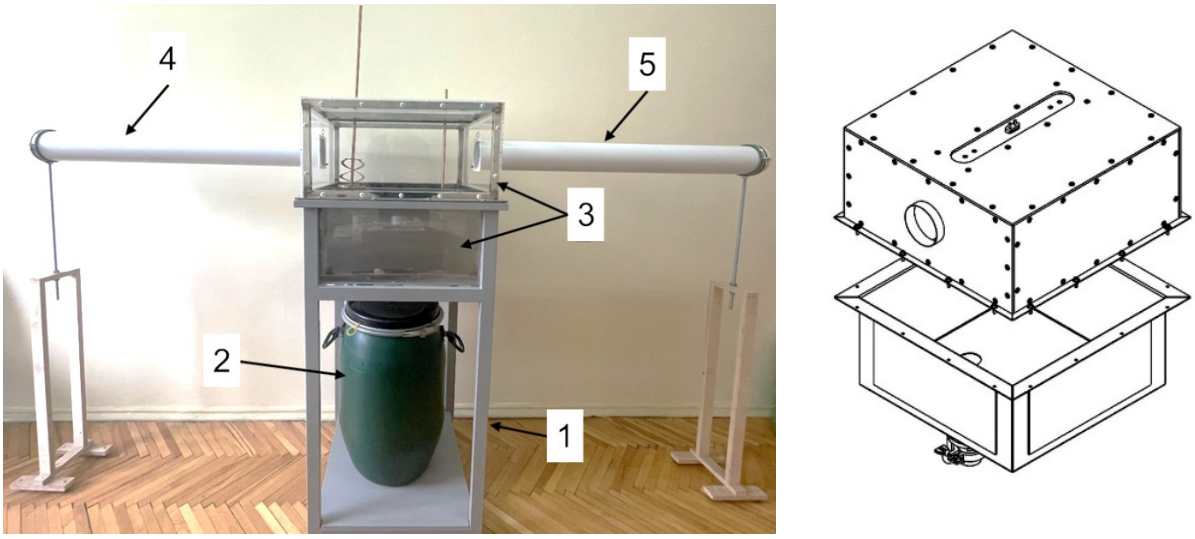
[3]ГОСТ 26713-85. Удобрения органические. Методы анализа. М.: Изд-во стандартов, 1986. 6 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827741.pdf

[4]ГОСТ 27980-88. Удобрения органические. Методы определения органического вещества. М.: Изд-во стандартов, 1986. 11 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294826/4294826787.pdf

[5]ГОСТ 26715-85. Удобрения органические. Методы определения общего азота. М., 1985. 12 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827739.pdf

Таблица 1 – **Характеристики исследуемого навоза /**
Table 1 – **Characteristics of the studied manure**

Вид навоза / Type of manure	*Влажность, % / Moisture content, %*	*Органический углерод, % на а.с.в. / Organic carbon, % of absolutely dry matter*	*Массовая доля азота / Mass fraction nitrogen*		
			аммонийного, % на н.в. / ammonium, % on native manure	*нитратного, мг/100 г / nitrate, mg/100 g*	*общего, % на н.в. / total, % on native manure*
Жидкий навоз КРС / Liquid cattle manure	91,6	44,6	0,12	13,8	0,36
Свиной навоз / Pig manure	96,1	38,9	0,10	33,8	0,28
Жидкая фракция навоза КРС / Liquid fraction of cattle manure	96,8	40,1	0,11	10,2	0,25
Жидкая фракция свиного навоза / Liquid fraction of pig manure	98,36	37,1	0,12	16,1	0,18



а / a **б / b**

Рис. 1. **Общий вид экспериментальной установки: а) экспериментальная установка: 1 – рама; 2 – емкость для слива жидкого материала; 3 – герметичная камера; 4 – входной воздуховод; 5 – выходной воздуховод; б) модель герметичной камеры /**

Fig. 1. **General view of the experimental unit: a) experimental unit: 1 – frame; 2 – tank for drained liquid material; 3 – airtight chamber; 4 – inlet duct; 5 – outlet duct; b) model of airtight chamber**

С противоположных сторон верхней части герметичной камеры расположены воздуховоды, на концах которых закреплены канальные вентиляторы для аэрации и воздухообмена.

Для нагрева материала предусмотрен подогрев ёмкости из нержавеющей стали специальными силиконовыми нагревателями, закрепленными на дне емкости с внешней стороны.

Процесс перемешивания материала обеспечивается двумя съемными миксерами, установленными в верхней части камеры (рис. 2). Привод миксеров осуществляется с помощью аккумуляторной дрели-шуруповерта. Нагрев материала и его периодическое перемешивание имитируют хранение и переработку навоза в различных условиях. В данном исследовании имитировали технологию длительного выдерживания.

Проведение исследования разделено на 3 этапа:

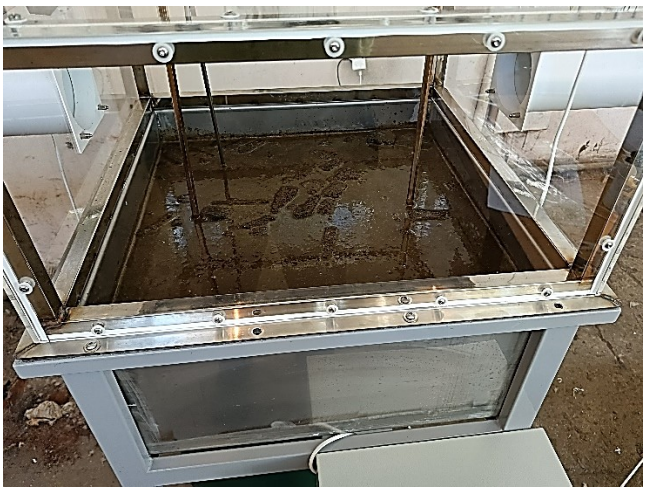
Этап 1 – загрузка навоза в камеру, выдерживание одного часа и измерение концентрации климатически активных веществ (без подогрева).

Этап 2 – измерение концентрации климатически активных веществ через 10 часов после загрузки навоза в камеру (без подогрева).

Этап 3 – измерение концентрации климатически активных веществ после нагрева навоза до температуры 35–40 °С.



а / a



б / b

Рис. 2. **Верхняя часть камеры (прозрачный колпак): а) установленные миксеры; б) жидкий навоз в нижней части герметичной камеры /**

Fig. 2. **Upper part of the chamber (transparent hood): a) installed mixers; b) liquid manure in the bottom of the airtight chamber**

Перемешивание навоза осуществляли с определённой периодичностью на каждом этапе исследования. На третьем этапе производили дополнительные перемешивания материала для его более равномерного нагрева.

Канальные вентиляторы включали за час до проведения замеров и выключали между этапами исследования.

Температуру навоза измеряли в трех точках с помощью контактного термометра ТК-5.04С с погружным усиленным зондом ЗПГУ8.1000, на основе этих данных вычисляли среднюю температуру навоза.

Концентрации CO_2, CH_4, H_2S и NH_3 определяли с использованием цифрового газоанализатора «ЭЛАН плюс». Измерение концентрации N_2O проводили на газовом хроматографе «Кристаллюкс-4000М» в ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт». Пробы воздуха отбирали из воздуховода с помощью шприца и закачивали в герметичные флаконы. Схема проведения отбора проб представлена на рисунке 3.

Влажность и температуру воздушного потока определяли переносным цифровым гигрометром Center 315 в соответствии с ГОСТ 17.2.4.07[6], скорость воздушного потока – переносным цифровым термоанемометром Testo 405i согласно ГОСТ 17.2.4.06[7] и ГОСТ Р ЕН 15259[8], массу исследуемого навоза во время загрузки – с помощью весов ТВ-S-200.2-А2.

Эксперимент проводили в трех повторностях. Полученные данные были обработаны методами математической статистики в программе Microsoft EXCEL. Оценку погрешности средних значений определяли с учетом критерия Стьюдента (для уровня вероятности 0,9).

Результаты и их обсуждение. Исследование образцов навоза выполняли по каждому виду в отдельности (табл. 1). Значения средних концентраций находятся в интервале среднеквадратичных отклонений, т. е. данные достоверны, сомнительные точки отсутствуют. Значения средних концентраций для всех газов находятся в пределах допустимых ошибок, что свидетельствует об их достоверности.

[6]ГОСТ 17.2.4.07. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения давления и температуры газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения. М.: Стандартинформ, 2008. 7 с.
URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/5d8/4294849062.pdf

[7]ГОСТ 17.2.4.06. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения Скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения. М.: изд-во стандартов, 1991. 20 с.
URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/a01/4294847492.pdf

[8]ГОСТ Р ЕН 15259. Качество воздуха. Выбросы стационарных источников. Требования к выбору измерительных секций и мест измерений, цели и плану измерений и составлению отчета. М.: Стандартинформ, 2015. 65 с.
URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293758/4293758322.pdf

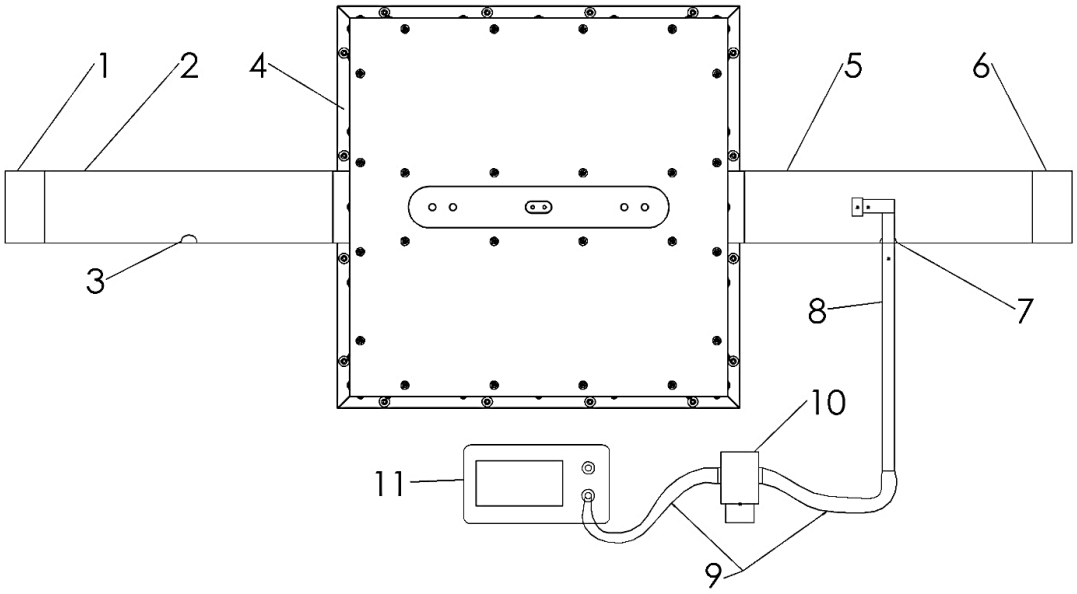


Рис. 3. **Схема отбора пробы из воздуховода: 1 – канальный вентилятор входного воздуховода; 2 – входной воздуховод; 3, 7 – точка отбора проб; 4 – герметичная камера; 5 – выходной воздуховод; 6 канальный вентилятор выходного воздуховода; 8 – пробоотборный зонд из нержавеющей стали; 9 – фторопластовые трубки; 10 – каплеуловитель; 11 – газоанализатор /**

Fig. 3. **Diagram of sampling from the duct: 1 – duct fan of the inlet duct; 2 – inlet duct; 3, 7 – sampling point; 4 – airtight chamber; 5 – outlet duct; 6 – duct fan of the outlet duct; 8 – stainless steel sampling probe; 9 – PTFE tubing; 10 – liquid trap; 11 – gas analyzer**

Средняя температура и концентрации климатически активных веществ, полученные при замерах от перерабатываемого жидкого навоза, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – **Средняя температура навоза и концентрации выделяемых климатически активных веществ при исследовании разных видов жидкого навоза /**
Table 2 – **Average temperature of manure and concentrations of released climate-active substances in the study of different types of liquid manure**

Вид навоза / Type of manure	*Температура навоза, °С / Manure temperature, °С*	*Концентрация / Concentration*			
		CO_2, мг/м³ / mg/m³	*CH_4, %*	*H_2S, мг/м³ / mg/m³*	*NH_3, мг/м³ / mg/m³*
1	2	3	4	5	6
Этап 1 / Stage 1					
Жидкий навоз КРС / Liquid cattle manure	24	537	0,02	0,147	1,97
Жидкий свиной навоз / Liquid pig manure	24,1	537	0,02	0,12	4,693
Жидкая фракция навоза КРС / Liquid fraction of cattle manure	24	537,3	0,02	0,367	2,537
Жидкая фракция свиного навоза / Liquid fraction of pig manure	24,3	539	0,02	0,087	1,577
Этап 2 / Stage 2					
Жидкий навоз КРС / Liquid cattle manure	24	539	0,02	0,223	3,343
Жидкий свиной навоз / Liquid pig manure	24	718	0,02	0,177	4,417
Жидкая фракция навоза КРС / Liquid fraction of cattle manure	24	537	0,02	0,22	2,697
Жидкая фракция свиного навоза / Liquid fraction of pig manure	23,3	592,3	0,017	0,12	1,697

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
Этап 3 / Stage 3					
Жидкий навоз КРС / Liquid cattle manure	35	539,3	0,03	0,367	4,343
Жидкий свиной навоз / Liquid pig manure	40,3	718	0,02	0,177	6,917
Жидкая фракция навоза КРС / Liquid fraction of cattle manure	35,3	538,3	0,027	0,327	4,083
Жидкая фракция свиного навоза / Liquid fraction of pig manure	35,7	537,7	0,027	0,203	2,727

Примечания: этап 1 – загрузка навоза в камеру, выдерживание одного часа и измерение концентрации климатически активных веществ (без подогрева); этап 2 – измерение концентрации климатически активных веществ через 10 часов после загрузки навоза в камеру (без подогрева); этап 3 – измерение концентрации климатически активных веществ после нагрева навоза до температуры 35-40 °С /

Notes: stage 1 – loading manure into the chamber, holding for one hour and measuring the concentration of climatically active substances (without heating); stage 2 – measuring the concentration of climatically active substances 10 hours after loading manure into the chamber (without heating); stage 3 – measuring the concentration of climatically active substances after heating the manure to a temperature of 35-40 °C

Фоновая концентрация N_2O при замерах для жидкого навоза КРС находилась в диапазоне от 0,35 ppm до 0,46 ppm, для жидкой фракции навоза КРС – в диапазоне от 0,38 ppm до 0,45 ppm, для свиного навоза – от 0,43 ppm до 0,47 ppm.

На графике (рис. 5) показаны результаты математической обработки в виде средних концентраций закиси азота в пробах, отобранных с троекратной повторностью при использовании лабораторной установки.

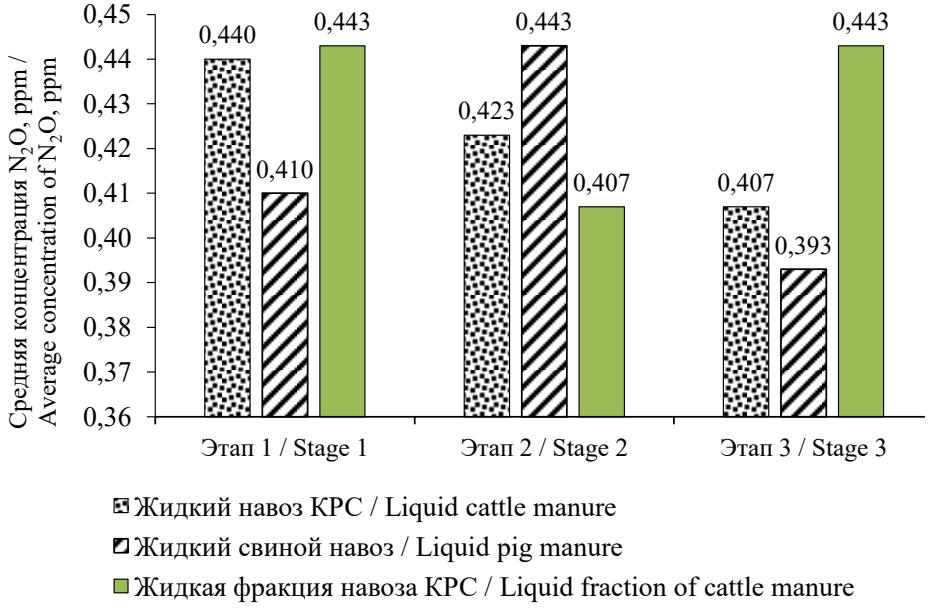


Рис. 5. **Гистограмма средних концентраций N_2O для жидкого навоза КРС, жидкой фракции навоза КРС и свиного навоза /**

Fig. 5. **Histogram of average N_2O concentrations for liquid cattle manure, liquid fraction of cattle manure and pig slurry**

При проведении исследования определяли следующие параметры, которые были сопоставимы для всех трех этапов и всех четырех видов навоза:

1. Средняя температура воздуха перед камерой (входной воздуховод) – +24,4±0,9 °С.

2. Средняя температура воздуха в камере – +24,9±1,1 °С;

3. Средняя температура воздуха на выходе из камеры (выходной воздуховод) – +24,7±0,7 °С.

4. Средняя скорость воздушного потока перед камерой (входной воздуховод) – 0,6±0,1 м/с.

5. Средняя скорость воздушного потока в камере – 0,5±0,1 м/с.

6. Средняя скорость воздушного потока на выходе из камеры (выходной воздуховод) – 2,1±0,1 м/с.

7. Средняя влажность воздуха перед камерой (входной воздуховод) – 59,8±0,5 %.

8. Средняя влажность воздуха в камере – 61,5±1,9 %.

9. Средняя влажность воздуха на выходе из камеры (выходной воздуховод) – 60,7±1,4 %.

Как видно из данных, представленных в таблице и на гистограмме, с разогревом жидкого навоза КРС (с +24 до +35 °С) концентрация CO_2 в эмиссии увеличилась на 0,4 %, концентрация CH_4 – на 33,3 %; H_2S – на 59,9 %; NH_3 – на 54,6 %. Концентрация N_2O в эмиссии снизилась с 0,440 ppm до 0,407 ppm (на 8,1 %).

С разогревом жидкой фракции навоза КРС (с +24,0 до +35,3 °С) концентрация CO_2 в эмиссии увеличилась на 0,2 %; концентрация CH_4 – на 25,9 %; концентрация H_2S снизилась на 12,2 %; концентрация NH_3 увеличилась на 37,9 %; концентрация N_2O в эмиссии не изменилась.

С разогревом жидкого свиного навоза (с +24,1 до +40,3 °С) концентрация CO_2 в эмиссии увеличилась на 25,2 %, H_2S – на 32,2 %, NH_3 – на 32,1 %; концентрация N_2O в эмиссии уменьшилась на 4,3 %, концентрация CH_4 не изменилась;

С разогревом жидкой фракции свиного навоза (с +24,3 до +35,7 °С) концентрация CO_2 в эмиссии уменьшилась на 0,2 %; концентрация CH_4 увеличилась на 25,9 %, концентрация H_2S – на 57,1 %; NH_3 – на 42,2 %.

Динамика повышения концентрации газов при разогреве жидкого навоза говорит о том, что имитация технологии длительного выдерживания прошла успешно.

Полученные в нашем исследовании численные значения концентраций климатически активных веществ сравнили с результатами других исследований.

В Российской Федерации аналогичные исследования проводятся в основном в ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля» (ФГБУ «ИГКЭ»). В 2008 году в этом институте была выполнена расчетным путем оценка кумулятивных выбросов парниковых газов от животноводства, включая системы сбора и хранения навоза [13]. Результаты этих исследований впоследствии легли в основу методологических подходов Национального кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, нерегулируемых Монреальским протоколом за 1990–2022 гг.

В 2023 году в России были проведены исследования по измерению эмиссии парниковых газов от систем хранения навоза КРС (жидкое и сухое хранение), свиного навоза и птичьего помёта на территории РФ. Разработаны экспериментальные модельные установки для оценки эмиссии парниковых газов от таких систем [14]. Исследования находятся в стадии проведения.

Ученые из Италии выполнили замеры концентраций аммиака в двух типах хранилищ: с исходным жидким навозом КРС и жидкой фракцией навоза КРС (после разделения исходного навоза на сепараторе). Результаты измерений показали, что концентрация аммиака над хранилищами исходного навоза КРС варьировала в диапазоне 4,2–6,1 мг/м^3; над хранилищами жидкой фракции навоза – 4,4–6,9 мг/м^3. Данные значения превышали полученные нами в результате эксперимента по исходному навозу КРС на 11,9 %, по жидкой фракции навоза – на 18,2 % [15].

Ученые из Малайзии провели исследования по замеру метана от хранилищ жидкого навоза КРС. Результаты показали, что эмиссии метана находятся в диапазоне 0–3,02 %. Наши экспериментальные показатели попадают в данный диапазон [16].

Полученные в результате исследования значения концентраций климатически активных веществ при переработке жидкого свиного навоза и жидкой фракции навоза КРС сопоставимы с данными аналогичных исследований, отличия составляют менее 20 %. Причины расхождения могут быть связаны с различными рационами кормления животных, природно-климатическими зонами и с нестабильными характеристиками навоза [17]. Следовательно, необходимо продолжать исследования по уточнению данных коэффициентов для регионов РФ.

Заключение. В соответствии с задачами исследования обоснована конструкция экспериментальной установки, разработана программа и методика, определены концентрации климатически активных веществ при переработке различных видов жидкого навоза. Экспериментальная установка позволяет имитировать естественные процессы, происходящие при переработке навоза. Произведена имитация технологии длительного выдерживания в открытом хранилище.

В результате исследования определены концентрации климатически активных веществ при переработке различных видов навоза (жидкий навоз КРС, жидкая фракция навоза КРС, жидкий

свиной навоз, жидкая фракция свиного навоза) на экспериментальной установке.

Концентрацию N_2O определяли на газовом хроматографе «Кристаллюкс-4000М». Концентрация газов в жидком навозе КРС составила: CO_2 – 537–539 мг/м^3, CH_4 – 0,02-0,03%, H_2S – 0,147–0,367 мг/м^3, NH_3 – 1,97–4,34 мг/м^3, в жидкой фракции навоза КРС следующая: CO_2 – 537–538 мг/м^3, CH_4 – 0,02 %, H_2S – 0,367–0,327 мг/м^3, NH_3 – 2,53–4,08 мг/м^3, в жидком свином навозе – CO_2 – 537–718 мг/м^3, CH_4 – 0,02 %, H_2S – 0,120–0,177 мг/м^3, NH_3 – 4,69–6,97 мг/м^3, в жидкой фракции свиного навоза – CO_2 – 537–592 мг/м^3, CH_4 – 0,01-0,02 %, H_2S – 0,08–0,20 мг/м^3, NH_3 – 1,57–2,72 мг/м^3.

Полученные в результате исследования значения концентраций климатически активных веществ при переработке жидкого навоза КРС и жидкой фракции навоза КРС сопоставимы с результатами аналогичных исследований, отличия составляют менее 20 %. При нагреве жидкого свиного навоза концентрация CO_2 увеличивается на 33,3 % по сравнению с другими видами навоза. Показания концентрации CH_4 слабо изменялись в процессе эксперимента. Наиболее высокие концентрации NH_3 наблюдали при обращении с жидким свиным навозом вне зависимости от этапа исследований.

Проведенные исследования позволяют говорить об определенной динамике изменения концентраций выбросов при различных этапах переработки жидкого навоза и о возможности выявления закономерностей, которые впоследствии смогут позволить создавать прогнозы изменения выбросов.

В перспективе необходимо провести более углубленные исследования исходных материалов с увеличением кратности измерений с целью повышения репрезентативности полученных данных и разработать расчётную модель, учитывающую различные варианты технологий обращения с навозом и позволяющую перейти от полученных в результате исследований концентраций веществ к удельным выбросам. Результаты исследований являются основой для корректировки коэффициентов при расчете эмиссии газов в соответствии с Методическими рекомендациями по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации.

Список литературы

1. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Шалавина Е. В., Уваров Р. А., Субботин И. А. Метод решения экологических проблем при обращении с навозом и помётом. Молочнохозяйственный вестник. 2017;(3(27)):84–96. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30275937 EDN: ZMNSXD

2. Пилип Л. В. Метод очистки воздуха от запахообразующих веществ свинокомплексов. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019;(4(101)):137–146. DOI: https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10221 EDN: UCGZAY

3. Джабборов Н. И., Мишанов А. П., Добринов А. В. Прогнозирование выбросов парниковых газов в растениеводстве от уровня применяемых технологий. АгроЭкоИнженерия. 2024;(1(118)):70–82. DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-1118-70-82 EDN: UDSNCT

4. Вторый В. Ф., Вторый С. В. Влияние системы удаления навоза на концентрацию аммиака в коровниках с беспривязным содержанием. АгроЭкоИнженерия. 2024;(2(119)):104–117. DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-2119-104-116 EDN: OOTRET

5. Брюханов А. Ю., Шалавина Е. В. Методический подход к выбору и проектированию отстойников жидкой фракции свиного навоза. Инновации в сельском хозяйстве. 2013;(2(4)):17–21. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=19414326 EDN: QIVYEL

6. Zhu H., Dong Heming, Zuo F., Yuan F., Rao J. Effect of covering on greenhouse gas emissions from beef cattle solid manure stored at different stack heights. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2014;30(24):225–231. DOI: https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2014.24.027

7. Kaharabata S. K., Schuepp P. H., Desjardins R. L. Methane emissions from above ground open manure slurry tanks. Global Biogeochemical Cycles. 1998;12(3):545–554. DOI: https://doi.org/10.1029/98GB01866

8. Kerr B. J., Trabue S. L., Andersen D. S., Van Weelden M. B., Pepple L. M. Dietary composition and particle size effects on swine manure characteristics and gas emissions. Journal of Environmental Quality. 2020;49(5):1384–1395. DOI: https://doi.org/10.1002/jeq2.20112

9. Trabue S. L., Kerr B. J., Bearson B. L., Hur M., Parkin T., Wurtele E. S., Ziemer C. J. Microbial community and chemical characteristics of swine manure during maturation. Journal of Environmental Quality. 2016;45(4):1144–1152. DOI: https://doi.org/10.2134/jeq2015.09.0446

10. Vorobel M., Klym O., Kaplinskyi V., Ivan L., Grabovskyi S., Taras P., Bilovus H. Reduction of the greenhouse gas emissions from the pig manure using inorganic substances. Scientific Papers. Series D. Animal Science. 2023;LXVI(2):421–427. URL: https://animalsciencejournal.usamv.ro/pdf/2023/issue_2/Art49.pdf

11. Hudson N. A., Ayoko G. A., Dunlop M. W., Duperouzel D., Burrell D., Bell K. et al. Comparison of odour emission rates measured from various sources using two sampling devices. Bioresource Technology. 2009;100(1):118–124. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.043

12. Holly M. A., Larson R. A., Powell J. M., Ruark M. D., Aguirre-Villegas H. Greenhouse gas and ammonia emissions from digested and separated dairy manure during storage and after land application. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2017;239:410–419. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.007

13. Романовская А. А. Оценка антропогенной эмиссии метана в животноводстве России в 1990-2004 гг. Сельскохозяйственная биология. 2008;43(6):59–65.
Режим доступа: http://www.agrobiology.ru/6-2008romanovskaya.html

14. Козлова Е. Н., Позднякова Е. А., Конькова А. С. Использование модельных установок для оценки эмиссии парниковых газов от систем хранения навоза. Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: приземный климат, загрязняющие и климатически активные вещества: мат-лы III Всеросс. научн. конф. М.: ФГБУ ИГКЭ, 2023. С. 136–140. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=59986887 EDN: MGIQHL

15. Dinuccio E., Berg W., Balsari P. Effects of mechanical separation on GHG and ammonia emissions from cattle slurry under winter conditions. Animal Feed Science and Technology. 2011;166-167:532–538.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.037

16. Hanafiah M. M., Ibraheem A. J., Razman K. K. Emissions of carbon dioxide and methane from dairy cattle manure. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2021;880:012037
DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/880/1/012037

17. Оценка потоков парниковых газов в экосистемах регионов Российской Федерации. Под ред. А. А. Романовской. М.: ИГКЭ, 2023. 343 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_56147005_38818185.pdf

References

1. Bryukhanov A. Yu., Vasilev E. V., Shalavina E. V., Uvarov R. A., Subbotin I. A. Method of environmental problem solution in manure management. *Molochnokhozyaystvenny vestnik*. 2017;(3(27)):84–96. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30275937

2. Pilip L. V. Method of air cleaning from odor-forming substances originating from pig complexes. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019;(4(101)):137–146. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10221

3. Dzhabborov N. I., Mishanov A. P., Dobrinov A. V. Forecasting of greenhouse gas emissions in crop production depending on applied technology level. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2024;(1(118)):70–82. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-1118-70-82

4. Vtory V. F., Vtory S. V. Effect of manure removal system on ammonia concentration in loose housing barns. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2024;(2(119)):104–117. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-2119-104-116

5. Bryukhanov A. Yu., Shalavina E. V. A methodical approach to the selection and design of settling tanks for the liquid fraction of pig manure. *Innovatsii v selskom khozyaystve*. 2013;(2(4)):17–21. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=19414326

6. Zhu H., Dong Heming, Zuo F., Yuan F., Rao J. Effect of covering on greenhouse gas emissions from beef cattle solid manure stored at different stack heights. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2014;30(24):225–231. DOI: https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2014.24.027

7. Kaharabata S. K., Schuepp P. H., Desjardins R. L. Methane emissions from above ground open manure slurry tanks. Global Biogeochemical Cycles. 1998;12(3):545–554. DOI: https://doi.org/10.1029/98GB01866

8. Kerr B. J., Trabue S. L., Andersen D. S., Van Weelden M. B., Pepple L. M. Dietary composition and particle size effects on swine manure characteristics and gas emissions. Journal of Environmental Quality. 2020;49(5):1384–1395. DOI: https://doi.org/10.1002/jeq2.20112

9. Trabue S. L., Kerr B. J., Bearson B. L., Hur M., Parkin T., Wurtele E. S., Ziemer C. J. Microbial community and chemical characteristics of swine manure during maturation. Journal of Environmental Quality. 2016;45(4):1144–1152. DOI: https://doi.org/10.2134/jeq2015.09.0446

10. Vorobel M., Klym O., Kaplinskyi V., Ivan L., Grabovskyi S., Taras P., Bilovus H. Reduction of the greenhouse gas emissions from the pig manure using inorganic substances. Scientific Papers. Series D. Animal Science. 2023;LXVI(2):421–427. URL: https://animalsciencejournal.usamv.ro/pdf/2023/issue_2/Art49.pdf

11. Hudson N. A., Ayoko G. A., Dunlop M. W., Duperouzel D., Burrell D., Bell K. et al. Comparison of odour emission rates measured from various sources using two sampling devices. Bioresource Technology. 2009;100(1):118–124. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.043

12. Holly M. A., Larson R. A., Powell J. M., Ruark M. D., Aguirre-Villegas H. Greenhouse gas and ammonia emissions from digested and separated dairy manure during storage and after land application. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2017;239:410–419. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.007

13. Romanovskaya A. A. Estimation of volumes of anthropogenic emissions of methane in Russian animal husbandry. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2008;43(6):59–65. (In Russ.).
URL: http://www.agrobiology.ru/6-2008romanovskaya.html

14. Kozlova E. N., Pozdnyakova E. A., Konkova A. S. Ystimation of greenhouse gas emissions from manure storage systems with use of pilot-scaled plant. Monitoring of the state and pollution of the environment: surface climate, pollutants and climatically active substances: Proceedings of the III All-Russian Scientific Conference. Moscow: *FGBU IGKE*, 2023. pp. 136–140. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=59986887

15. Dinuccio E., Berg W., Balsari P. Effects of mechanical separation on GHG and ammonia emissions from cattle slurry under winter conditions. Animal Feed Science and Technology. 2011;166-167:532–538. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.037

16. Hanafiah M. M., Ibraheem A. J., Razman K. K. Emissions of carbon dioxide and methane from dairy cattle manure. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2021;880:012037 DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/880/1/012037

17. Assessment of greenhouse gas fluxes in the ecosystems of the regions of the Russian Federation. Edited by A. A. Romanovskaya. Moscow: *IGKE*, 2023. 343 p. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_56147005_38818185.pdf

Сведения об авторах

Васильев Эдуард Вадимович, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Фильтровское ш. 3, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5910-5793**

Базыкин Валентин Игоревич, научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Фильтровское ш. 3, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6417-6433**

✉ **Екатерина Викторовна Шалавина,** кандидат техн. наук, старший научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Фильтровское ш. 3, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7345-1510**, e-mail: shalavinaev@mail.ru

Егоров Семен Алексеевич, младший научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Фильтровское ш. 3, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0008-3948-6171**

Information about the authors

Eduard V. Vasilev, PhD in Engineering, leading researcher, the Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5910-5793**

Valentin I. Bazykin, researcher, the Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6417-6433**

✉ **Ekaterina V. Shalavina,** PhD in Engineering, senior researcher, the Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7345-1510**, e-mail: shalavinaev@mail.ru

Semen A. Egorov, junior researcher, the Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0008-3948-6171**

✉ – Для контактов / Corresponding author



ISSN 2072-9081 (print) Аграрная наука Евро-Северо-Востока, Том 27, № 1, 2026.
ISSN 2500-1396 (online) Agricultural Science Euro-North-East, Vol. 27, no.1, 2026.