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

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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







Том 26
№ 3
2025

Vol. 26
No. 3
2025

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Научный журнал основан в 2000 г. **Том 26, № 3, 2025**

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 специалист по коммуникациям и инновациям, главный научный сотрудник Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, Россия
Дёгтева Светлана Владимировна	д.б.н., чл.-корр. РАН, директор ФИЦ Коми научный центр УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия
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, заведующий кафедрой частной зоотехнии, разведения с.-х. животных и акушерства ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия
Иванов Дмитрий Анатольевич	д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель – филиала ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Тверь, Россия
Казакевич Пётр Петрович	д.т.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, зам. председателя Президиума НАН Беларуси, иностранный член РАН, г. Минск, Республика Беларусь
Косолапов Владимир Михайлович	д.с.-х.н., профессор, академик РАН, научный руководитель ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», г. Москва, Россия
Костяев Александр Иванович	д.э.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, руководитель отдела экономических и социальных проблем развития региональных АПК и сельских территорий Института аграрной экономики и развития сельских территорий – структурного подразделения ФГБУН «Санкт-Петербургский ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия
Куликов Иван Михайлович	д.э.н., профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», г. Москва, Россия
Леднев Андрей Викторович	д.с.-х.н., доцент, главный научный сотрудник, руководитель Удмуртского НИИСХ – структурного подразделения 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

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

Первое фото
на первой странице обложки
А. Широких

Подписано к печати
27.06.2025
Дата выхода в свет
07.07.2025
Формат 60x84$^{1/8}$.
Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 31,16.
Тираж 100 экз. Заказ 21.
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

Сисягин Павел Николаевич — д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», 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 — 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

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, 2025;26(3)
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

(cc) BY

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

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

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

Editorial council

Nikolay R. Andreev	Dr. of Sci. (Engineering), corresponding member of RAS, Academic advisor of the All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow, Russia
Vugar A. Bagirov	Dr. of Sci. (Biology), professor, corresponding member of RAS, Director of the Department of Coordination of Organizations in the Field of Agricultural Sciences of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, Russia
Galina A. Batalova	Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the deputy Director on selection work, the head of Department of oats of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russia
Alexander M. Guryanov	Dr. of Sci. (Agricultural), professor, chief Communications and Innovation Specialist, chief researcher of the Mordovia Agricultural Research Institute – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Saransk, Russia
Svetlana V. Degteva	Dr. of Sci. (Biology), corresponding member of RAS, the Director of the Federal Research Center Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia
Eduard D. Dzhavadov	Dr. of Sci. (Veterinary), Honored Worker of Science of the Russian Federation, academician of RAS, professor at the Department of Epizootology named after V.P. Urban, Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia
Otari N. Didmanidze	Dr. of Sci. (Engineering), professor, academician of RAS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Acting Head of the Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia
Igor A. Domskiy	Dr. of Sci. (Veterinary), professor, corresponding member of RAS, Director at Professor Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia
Sergey P. Eremin	Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Head of the Department of Small Animal Science, Breeding of Farm Animals and Obstetrics of 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
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, Director of the Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia
Andrei V. Lednev	Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, head of Udmurt Research Institute of Agriculture – Branch of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia
Galina N. Nikonova	Dr. of Sci. (Economics), professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Chief of the Department of Forecasting Changes in Economic Structures and Land Relations of the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia
Yulia V. Pashkina	Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the acting head at the Department of Epizootology, Parasitology and Veterinary-Sanitary Inspection of 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

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

Passed for printing
27.06.2025
Date of publication
07.07.2025
Format 60x84$^{1/8}$. Offset paper.
Cond. pecs. l. 31.16.
Circulation 100 copies. Order 21.
Free price.

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

Ivan V. Savchenko — Dr. of Sci. (Biology), the professor, academician of RAS, chief researcher All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia

Alexander G. Samodelkin — Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the agricultural and Environmental direction of the Nizhny Novgorod Scientific and Educational Center, Nizhny Novgorod, Russia

Pavel N. Sisyagin — Dr. of Sci. (Veterinary), the professor, corresponding member of RAS, Nighny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia

Vera I. Titova — Dr. of Sci. (Agricultural), Honored Worker of Science of the Russian Federation, professor, Head of the Department of Agrochemistry and Agroecology of 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 — President of the Baicheng Academy of Agricultural Sciences (China), a foreign member of RAS, Baicheng, China

Semjons Ivanovs — Dr. of Sci. (Engineering), Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia

Andrzej Marczuk — Dr. of Sci. (Engineering), professor, dean, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland

András Náhlik — The professor, rector, University of Sopron, Institute of Wildlife Management and Vertebrate Zoology, Sopron, Hungary

Kaisa Poutanen — Dr. of Sci. (Engineering), Academy Professor, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland

Vaclav Romaniuk — Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Technology and Life Sciences, Falenty, Poland

Li Yu — professor, chief scientific officer, Jilin Agricultural University, foreign member of RAS, member of the Chinese Academy of Sciences, Changchun, China

Editorial Board

Aleksey V. Aleshkin — Dr. of Sci. (Engineering), professor, the Department of Mechanics and Engineering Drawing, Vyatka State University, Kirov, Russia

Andrey A. Artemjev — Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, leading researcher, Director of Mordovia Agricultural Research Institute –Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Saransk, Russia

Anna S. Brandorf — Dr. of Sci. (Agricultural), leading researcher, head of the Laboratory of Beekeeping, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Alexander I. Burkov — Dr. of Sci. (Engineering), professor, chief researcher of the Laboratory of Grain- and Seed-Cleaning Machines, the Honored Inventor of the Russian Federation, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Tatyana L. Egoshina — Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the Department of Ecology and Resource Management, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia

Alexander A. Ivanovsky — Dr. of Sci. (Veterinary), leading researcher, head of the Laboratory of Veterinary Biotechnology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Olga V. Kostenko — Cand. of Sci. (Economics), associate professor, associate professor at the Department of Accounting and Finance, Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

Olga V. Ryabova — Cand. of Sci. (Biology), associate professor at the Department of Microbiology, Perm State Pharmaceutical Academy, Perm, Russia

Alexander P. Saveljev — Dr. of Sci. (Biology), chief researcher, the Department of Animal Ecology, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia

Evgeniya V. Tovstik — Cand. Sci. (Biology), associate professor at the Department of Basic Chemistry and Chemistry Training Methodology, senior researcher at the Center of Competence and Environmental Technologies and Systems, Vyatka State University, Kirov, Russia

Andrey V. Filatov — Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the Department of Zoological Hygiene, Physiology and Biochemistry, Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

Tatyana K. Sheshegova — Dr. of Sci. (Biology), senior researcher, head of the Laboratory of Immunity and Plants Protection, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Gubeidulla S. Junusov — Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Agricultural Technologies of Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

В. А. Сысуев, Н. Е. Рубцова. К 25-летию научного журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока»…….. 445

И. А. Устюжанин, В. А. Стариков
Вклад руководителей в становление Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (к 130-летию учреждения)…… 449

ПРОГРАММНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СТАТЬЯ

А. Г. Клыков. Состояние и перспективы развития аграрной науки на Дальнем Востоке…….. 459

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

Н. Е. Завьялова, В. Р. Ямалтдинова, Д. Г. Шишков, С. С. Скрябина, И. В. Казакова
Классические и современные подходы к изучению органического вещества дерново-подзолистых почв Среднего Предуралья (аналитический обзор)…… 470

К. С. Шатохин, К. Н. Нарожных, А. Ф. Петров, М. А. Чечушкова, В. М. Норкина, О. В. Ефремова, Е. В. Камалдинов
История формирования сибирского чёрно-пёстрого голштинизированного скота (обзор)…….. 499

А. Л. Глушков
Анализ конструкций и технологического процесса зерноочистительных машин, работающих по пневмофракционной технологии (обзор)…….. 519

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

Л. В. Волкова
Результаты сравнительного изучения коммерческих сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Кировской области…….. 536

А. В. Худякова, М. Г. Маркова
Скрининг коллекции земляники садовой на наличие локусов резистентности *Rca2* и *08 To-f*…… 546

А. П. Софронов, С. В. Фирсова, А. А. Русинов. Сортоизучение черемухи в Кировской области…… 555

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

М. Л. Пономарева, С. Н. Пономарев, Г. С. Маннапова, С. Ю. Павлова, И. О. Иванова
Оптимизация методов оценки озимой ржи на устойчивость к снежной плесени в условиях естественных и искусственных инфекционных фонов…….. 564

О. П. Гаврилова, А. С. Орина, Т. Ю. Гагкаева
Идентификация и характеристика возбудителей фузариозной сухой гнили картофеля…… 577

Т. К. Шешегова, О. А. Жуйкова, Л. М. Щеклеина
Адаптивность новых сортов и линий овса по иммунологическим признакам в условиях Кировской области…… 585

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ

И. Г. Широких, Н. А. Боков, А. В. Бакулина, Е. А. Бессолицына
Отбор стрептомицетов-хитинолитиков для биоконтроля грибных фитопатогенов…….. 595

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

А. Э. Шабанов, С. В. Мальцев, Д. В. Абросимов, П. В. Соломенцев
Российские сорта для переработки на хрустящий картофель…….. 608

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

Д. А. Иванов, М. В. Рублюк, Н. А. Хархардинов
Прогноз урожайности и размещения посевов озимой ржи на землях, рекомендованных к освоению…… 618

А. А. Артемьев, А. М. Гурьянов
Отзывчивость культур полевого севооборота на внесение разных доз минеральных удобрений…… 628

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ

Н. И. Касаткина, Ж. С. Нелюбина
Влияние агрометеорологических условий и приемов посева на семенную продуктивность люцерны изменчивой в Среднем Предуралье…….. 639

ЗООТЕХНИЯ

В. И. Чинаров. Современные проблемы разведения крупного рогатого скота в России…….. 650

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

А. З. Брандорф, Л. Хинган, Н. Циншенг
Инфестация пчелиных семей *Apis mellifera* L. клещом рода *Tropilaelaps* spp. в условиях России…….. 663

ЗВЕРОВОДСТВО. ОХОТОВЕДЕНИЕ

Ю. А. Березина, О. Ю. Беспятых, И. А. Домский, А. С. Сюткина, С. Ф. Стреляный
Сравнительная характеристика биохимических параметров у диких и разводимых на промышленных зверофермах лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758) с использованием методов PCA и корреляционного анализа…….. 671

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

Э. В. Васильев, Д. А. Максимов, Э. А. Папушин, Е. В. Шалавина, С. Н. Матейчик
Интеллектуализированная оценка систем сбора и хранения навоза на молочной ферме по выбросу парниковых газов…… 680

ЭКОНОМИКА

А. И. Костяев, Г. Н. Никонова
Устойчивое развитие агропромышленного производства: подходы, принципы, цели и индикаторы…… 691

CONTENTS

PAGES OF HISTORY

Vasiliy A. Sysuev, Natalya E. Rubtsova
To the 25th anniversary of the scientific journal "Agricultural Science Euro-North-East"…….. 445

Igor A. Ustyuzhanin, Valeriy A. Starikov
The contribution of the directors to the development of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (to the 130th anniversary of the organization)…….. 449

PROGRAM-ANALYTICFL ARTICLE

Aleksei G. Klykov
The state and prospects of agrarian science in the Russian Far East…….. 459

REVIEWS

Nina E. Zavyalova, Venera R. Yamaltdinova, Danil G. Shishkov, Sofia S. Scryabina, Inna V. Kazakova
Classical and modern approaches to the study of organic matter of sod-podzolic soils in the Middle Pre-Urals (analytical review)…….. 470

Kirill S. Shatokhin, Kirill N. Narozhnykh, Alexey F. Petrov, Marina A. Chechushkova, Violetta M. Norkina, Olga V. Efremova, Evgueny V. Kamaldinov
The history of the formation of Siberian black-and-white Holstein cattle (review)…… 499

Andrei L. Glushkov
Analysis of the design and technological process of grain cleaning machines operating on pneumatic fractional technology (review)…….. 519

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

Lyudmila V. Volkova
The results of a comparative study of commercial cultivars of spring wheat in the Kirov region…….. 536

Anna V. Khudyakova, Marina G. Markova
Screening of the strawberry collection for the presence of resistance loci *Rca2* and *08 To-f*…….. 546

Alexandr P. Sofronov, Svetlana V. Firsova, Anatoly A. Rusinov
Study of bird cherry tree cultivars in the Kirov Region…… 555

PLANT PROTECTION

Mira L. Ponomareva, Sergey N. Ponomarev, Gulnaz S. Mannapova, Svetlana Yu. Pavlova, Irina O. Ivanova
Optimization of methods for assessing the resistance of winter rye to snow mold in natural and artificial infection backgrounds…… 564

Olga P. Gavrilova, Aleksandra S. Orina, Tatiana Yu. Gagkaeva
Identification and characterization of the pathogens causing Fusarium dry rot of potatoes…….. 577

Tatyana K. Sheshegova, Olga A. Zhuykova, Lucia M. Shchekleina
Adaptability of new cultivars and lines of oats according to immunological characteristics in the conditions of Kirov region…….. 585

AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

Irina G. Shirokikh, Nikita A. Bokov, Anna V. Bakulina, Ekaterina A. Bessolitsyna
Selection of streptomyces chitinolytics for biocontrol of fungal phytopathogens…… 595

STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

Adam E. Shabanov, Stanislav V. Maltsev, Dmitry V. Abrosimov, Pavel V. Solomentsev
Russian cultivars for processing into potato chips…… 608

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

Dmitriy A. Ivanov, Maria V. Rublyuk, Nikita A. Kharkhardinov
Forecast of yield and placement of winter rye crops on lands recommended for development…….. 618

Andrey A. Artemjev, Alexander M. Guryanov
Responsiveness of agricultural crops in field crop rotation to the application of different doses of mineral fertilizers…….. 628

FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW

Nadezhda I. Kasatkina, Zhanna S. Nelyubina
The influence of agrometeorological conditions and sowing techniques on seed productivity of variegated alfalfa in the Middle Cis-Urals…… 639

ZOOTECHNY

Vladimir I. Chinarov. Modern problems of cattle breeding in Russia…….. 650

VETERINARY MEDICINE

Anna Z. Brandorf, Li Xing'an, Niu Qingsheng
Infestation of *Apis mellifera* L. bee colonies by a mite of the genus *Tropilaelaps* spp. in the conditions of Russia…… 663

FUR FARMING AND HUNTING

Yuliya A. Berezina, Oleg Yu. Bespyatykh, Igor A. Domskiy, Anna S. Syutkina, Sergey F. Strelyaniy
Comparative characteristics of biochemical parameters in wild and commercially bred foxes (*Vulpes vulpes* L., 1758) using PCA and correlation analysis methods…… 671

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

Eduard V. Vasilev, Dmitry A. Maksimov, Eduard A. Papushin, Ekaterina V. Shalavina, Svetlana N. Mateichik
Intelligent assessment of manure collection and storage systems on a dairy farm by the greenhouse gas emissions…… 680

ECONOMY

Alexander I. Kostyaev, Galina N. Nikonova
Sustainable development of agro-industrial production: approaches, principles, goals and indicators…… 691

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ / PAGES OF HISTORY

УДК 63:001.38:655.411

(cc) BY

К 25-летию научного журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока»

© 2025. В. А. Сысуев, Н. Е. Рубцова✉
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В публикации отражены основные этапы становления и развития научного журнала Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого «Аграрная наука Евро-Северо-Востока» за 25-летний период – от издания регионального уровня до высокорейтингового научного журнала открытого доступа, включенного в авторитетные российские и международные базы данных.

Ключевые слова: *периодическое научное издание, этапы развития, базы данных, редсовет, редколлегия, рейтинг*

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Сысуев В. А., Рубцова Н. Е. К 25-летию научного журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока». Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):445–448.

Поступила: 01.06.2025 Принята к публикации: 17.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

To the 25th anniversary of the scientific journal “Agricultural Science Euro-North-East”

© 2025. Vasiliy A. Sysuev, Natalya E. Rubtsova✉
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The publication informs on the main stages of establishment and development of the scientific journal “Agricultural Science Euro-North-East” of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky over the 25-year period - from a regional edition to a highly rated open access scientific journal included in reputable Russian and international databases.

Keywords: *periodical, stages of development, databases, editorial council, editorial board, ranking*

***Acknowledgements*:** the work was carried out without financial support within the framework of the initiative topic.

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

***For citation*:** Sysuev V. A., Rubtsova N. E. To the 25th anniversary of the scientific journal “Agricultural Science Euro-North-East” *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*=Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):445–448. (In Russ.).

Received: 01.06.2025 Accepted for publication: 17.06.2025 Published online: 30.06.2025

Научный журнал «**Аграрная наука Евро-Северо-Востока**» https://www.agronauka-sv.ru учрежден в 2000 г. Северо-Восточным научно-методическим центром Российской академии сельскохозяйственных наук (СВНМЦ РАСХН), который в 1996 году был организован на базе Зонального НИИСХ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого (НИИСХ Северо-Востока) и координировал деятельность 15 НИУ по научному обеспечению агропромышленного комплекса Северо-Восточного региона европейской части России (Кировская, Нижегородская, Костромская, Свердловская области, Пермский край, республики Мордовия, Марий Эл, Чувашская, Удмуртская, Коми).

Главным редактором журнала с момента основания является академик РАН В. А. Сысуев – на тот момент Председатель Президиума СВНМЦ РАСХН и директор НИИСХ Северо-Востока, в настоящее время – научный руководитель ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

Значимый вклад в становление журнала внесли главный ученый секретарь СВНМЦ РАСХН кандидат с.-х. наук Е. Н. Южанина (2000–2002 гг.), заместители главного редактора журнала – доктор техн. наук Ф. Ф. Мухамадьяров (2002–2008 гг.) и кандидат с.-х. наук Н. Е. Рубцова (2000–2008 гг. – ответственный секретарь, с 2009 г. по н. в. – зам. гл. редактора), ответственные за выпуск – кандидат с.-х. наук Е. Н. Пасынкова (2009–2012 гг.), кандидат

с.-х. наук Н. В. Веселова (2012–2014 г.), Н. Н. Соболева (с 2014 г. по н. в.), научный редактор – И. В. Кодочигова (с 2002 г. по н. в.).

Выпуски журнала всегда печатали в минитипографии НИИСХ Северо-Востока (ныне ФАНЦ Северо-Востока) сотрудники отдела маркетинга (в н. в. научно-организационный отдел) З. А. Шишкина, О. И. Блинова, А. Ю. Исупов, Н. В. Турубанов.

В первые годы работы (2000–2007) журнал выходил с периодичностью два раза в год и публиковал статьи ученых научных организаций, входящих в зону деятельности СВНМЦ РАСХН, по всем направлениям их научной деятельности. Редколлегия издания была представлена несколькими сотрудниками СВНМЦ РАСХН – докторами (Г. П. Дудин, В. М. Косолапов, А. И. Бурков) и кандидатами наук (Е. Н. Южанина, Т. П. Кокурин, М. И. Пономарева). Рецензирование поступающих статей осуществляли, помимо членов редколлегии, руководители и ученые секретари научно-методических секций СВНМЦ РАСХН (доктора наук – Г. А. Баталова, Л. М. Козлова, А. А. Ивановский, В. А. Фигурин, Ф. Ф. Мухамадьяров, Т. К. Шешегова; кандидаты наук – В. А. Стариков, Р. В. Русаков, Н. Е. Рубцова, О. В. Рябова, Н. В. Веселова, Т. В. Агалакова, Г. Н. Косолапова, О. В. Костенко), а также заместители директоров по науке научных учреждений СВНМЦ РАСХН (доктора наук – А. А. Артемьев, А. В. Леднев; кандидаты наук Г. Т. Шморгунов, З. Я. Косорлукова, В. М. Изместьев, А. В. Николаев, И. А. Устюжанин).

Постепенно расширялась территория распространения журнала, росло количество новых авторов, менялись требования к представлению статей, появились первые зарубежные публикации. В числе авторов – ученые из Австрии, Греции, Германии, Китая, Польши, Молдовы, Беларуси, Казахстана, Украины, Армении, Литвы.

В соответствии с Постановлением Общего собрания СВНМЦ РАСХН принято решение о подготовке издания к включению в Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий ВАК. С 2007 года периодичность журнала увеличилась до 6 выпусков в год, получено свидетельство государственной регистрации периодического печатного научного издания ПИ № ФС 3204 от 07.02.2007 г., журналу присвоены подписной индекс и международные стандартные номера серийного издания: ISSN 2072-9081 (print) в 2009 г., ISSN 2500-1396 (online) в 2016 г.

С 2010 г. и по настоящее время решением Президиума ВАК Минобразования России журнал «Аграрная наука Евро-Северо-Востока» регулярно входит в «Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук». В 2023 году решением ВАК Минобрнауки России журнал «Аграрная наука Евро-Северо-Востока» отнесен к первой категории (К1).

Сведения о журнале публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям Ulrich's Periodicals Directory. Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

С 2015 г. журнал входит в базу данных лучших российских научных журналов Russian Science Citation Index (RSCI) на ведущей мировой платформе Web of Science. Статьи из журнала индексируются в международной базе данных AGRIS. Журнал проходит перерегистрацию в связи с изменением языка (русский, английский). Проверку перевода на английский в разные годы осуществляли доктор биол. наук Е. М. Лисицын и О. М. Кочурова.

После реорганизации государственных академий наук и сети региональных аграрных учреждений функции учредителя и издателя журнала в 2018 г. перешли к Федеральному государственному бюджетному научному учреждению «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, http://fanc-sv.ru/).

В 2018 г. издатель журнала становится членом международной организации PILA (Crossref). Редакция проводит работы по постатейному переформатированию электронных версий журнала для присвоения DOI опубликованным статьям. Начинается работа по приведению формата издания и сайта журнала к требованиям международных стандартов с целью продвижения издания в глобальные индексы цитирования и другие базы данных. С 2019 г. электронная версия журнала находится в открытом доступе и дополнительно размещается на международных поисковых платформах Dimensions и BASE, в международном мультидисциплинарном каталоге журналов открытого доступа DOAJ и европейском репозитории статей открытого доступа OpenAIRE и некоторых других ресурсах. В 2020 г. журнал включен в базы данных ведущего поставщика электронных книг и пери-

одических изданий на рынке информационных услуг EBSCOhost™. Соответствующее соглашение подписано ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока с компаний EBSCO Publishing, Inc. (США). В 2022 году журнал дополнительно включен в китайскую базу научной информации CNKI (China National Knowledge Infrastructure). Активному вхождению журнала в международные базы данных способствовало размещение издания на платформе Elpub при консультационной поддержке ООО «НЭИКОН ИСП» и специалистов АНРИ (Ассоциации научных редакторов и издателей).

Произошли качественные изменения в составе редсовета и редколлегии журнала – 34 доктора наук и 4 кандидата наук из 19 ведущих научных и образовательных учреждений России, 9 ведущих ученых из Беларуси, Китая, Финляндии, Польши, Венгрии, Латвии. В составе редсовета 8 академиков и 8 членов-корреспондентов РАН, 3 иностранных члена РАН, члены Национальной академии наук Беларуси, Академии наук Китая, Инженерной академии Китая.

В систему экспертной оценки научных статей введено «двойное слепое», преимущественно внешнее рецензирование. База данных рецензентов в настоящее время составляет свыше 570 ученых из более 80 ведущих научных учреждений и университетов России, Беларуси, Казахстана и Латвии.

Открыты новые категории публикаций: обзорные, дискуссионные, проблемные и программно-аналитические статьи. Среди авторов возрастает востребованность новых рубрик: «Защита растений», «Сельскохозяйственная микробиология и микология». Количество просмотров на сайте журнала свидетельствует об интересе читателей к обзорным аналитическим статьям междисциплинарного характера.

В целом, за период с 2011 по 2023 год цитируемость статей авторов нашего журнала в наиболее авторитетных журналах ядра РИНЦ (включенных в БД WoS, Scopus, RSCI) увеличилась почти в 28 раз (рис.), наиболее резкий прирост наблюдается с момента принятия журналом политики открытого доступа.

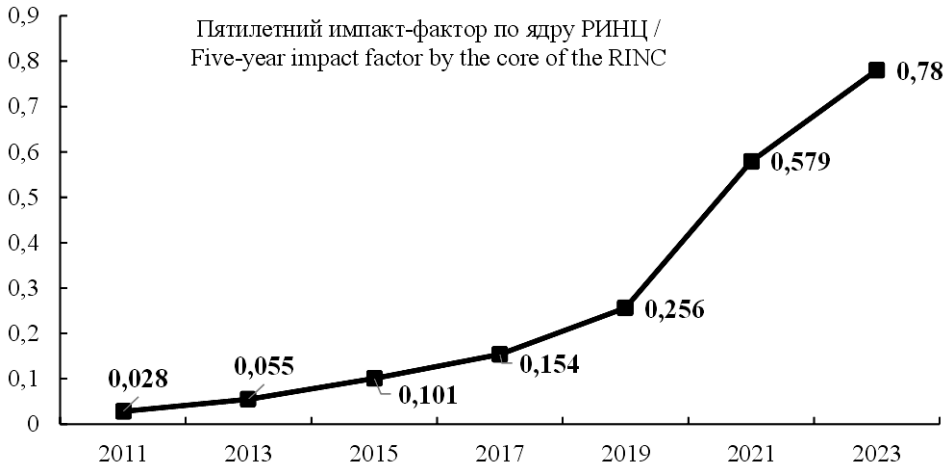


Рис. **Рост показателя цитируемости статей из журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока» в изданиях ядра РИНЦ (по данным SCIENCE INDEX) /**

Fig. **The growth of citation index of the "Agricultural Science Euro-North-East" journal articles in publications of the core of the RINC (according to SCIENCE INDEX data)**

Согласно данным РИНЦ, за последние пять лет (с 2019 по 2023 год) выросли показатели журнала в новом рейтинге SCIENCE INDEX: процентиль – с 19 до 11, место в рейтинге по сельскому хозяйству – с 53-го до 29-го; число просмотров статей – с 9 663 до 15 984, новых авторов – с 57 до 123, число организаций, аффилированных с авторами – с 28 до 54, средний индекс Хирша авторов – с 6,9 до 8,7.

Журнал вошел в «Белый список» наиболее авторитетных российских и международных научных изданий, который предполагается использовать для мониторинга и оценки публикационной активности российских ученых. Согласно методике Минобрнауки России, в 2023 году нашему журналу присвоен второй уровень (категория) (табл.). В первые две категории вошли 25 наиболее значимых изданий из 90 научных журналов, входящих в «Белый список» по направлению «Сельское, лесное и рыбное хозяйство».

Заключение. Подводя итоги 25-летней деятельности по изданию научного журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока», констатируем, что каждый из этапов его развития был ориентирован на отбор качественного исследовательского материала с помощью высококвалифицированных экспертов, поиск

эффективных форм и способов распространения опубликованных результатов по научному обеспечению сельского и охотничьего хозяйства, приоритетное освещение проблем рационального природопользования и адаптации агроэкосистем к меняющимся климатическим условиям на основе отраслевых и междисциплинарных знаний, формирование на страницах издания дискуссионных площадок по приоритетным научным проблемам.

Таблица – **Рейтинг научных журналов 2-го уровня «Белого списка» по показателю «пятилетний импакт-фактор по ядру РИНЦ без самоцитирования» (направление «Сельское и лесное хозяйство") (по данным РИНЦ, 2023 г.) /** *Table* – **Ranking of scientific journals of the 2nd category of the "White List" by the index "Five-year impact factor by the core of the RINC without self-citation" (Section "Agriculture and Forestry") (according to RINC data, 2023)**

№	*Название журнала / Name of the journal*	*ИФ / Impact factor*
1	Сельскохозяйственная биология / Agricultural Biology	0,997
2	**Аграрная наука Евро-Северо-Востока / Agricultural Science Euro-North-East**	**0,639**
3	Зерновое хозяйство России / Grain Economy of Russia	0,513
4	Российская сельскохозяйственная наука	0,511
5	Agricultural and Resource Economics	0,447
6	Вестник Казанского государственного аграрного университета / Vestnik of the Kazan State Agrarian University	0,414
7	Кормопроизводство / Forage Production	0,399
8	Мелиорация и гидротехника / Land Reclamation and Hydraulic Engineering	0,388
9	АПК: экономика, управление	0,303
10	Агрофизика	0,297

Благодарим всех, кто работал над журналом увлеченно и ответственно, подвижнически, кто выбрал наш журнал для публикации материалов исследований, кто откликнулся на просьбу о рецензировании и помог авторам в совершенствовании статей, а редакции – в их продвижении. Особую признательность выражаем руководству ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (головного учреждения и филиалов) за поддержку программы развития научного журнала.

Впереди – новые планы и кропотливая работа. Неизменным остается желание идти навстречу новому. Насущная задача – сохранить достигнутое и обеспечить преемственность редакционного коллектива для дальнейшего развития научного журнала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

Рубрику «Страницы истории» в этом выпуске журнала продолжает материал, посвященный 130-летию образования Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого – учредителя и издателя журнала «Аграрная наука Северо-Востока». Поздравляя коллектив с юбилейным событием, надеемся, что и в будущем научный журнал, ядром которого являются ведущие ученые Центра, останется одной из его визитных карточек, поддерживая высокий уровень научной коммуникации и продолжая летопись научных достижений.

Сведения об авторах

Сысуев Василий Алексеевич, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1172-005X**

✉ **Рубцова Наталья Ефимовна,** кандидат с.-х. наук, зав. научно-организационным отделом, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9573-3842,** e-mail: orgnauka@fanc-sv.ru

Information about the authors

Vasily A. Sysuev, academician of the RAS, academic advisor, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1172-005X**

✉ **Natalya E. Rubtsova,** PhD in Agricultural Science, Head of the Scientific and Organizational Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9573-3842,** e-mail: orgnauka@fanc-sv.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

УДК 631.117.4:631.1.016

(cc) BY

Вклад руководителей в становление Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (к 130-летию учреждения)

© 2025. И. А. Устюжанин ✉, В. А. Стариков

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

В статье приведены результаты научной и производственной деятельности коллектива ученых Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, начиная с 1895 г. – со дня создания Вятской земской сельскохозяйственной опытной станции. Раскрыта роль 17 руководителей в становлении и развитии учреждения в различных условиях существования страны.

Ключевые слова: *история Вятской аграрной науки, этапы развития, директора учреждения, научные достижения, ведущие ученые, Зональный НИИСХ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого*

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Устюжанин И. А., Стариков В. А. Вклад руководителей в становление Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (к 130-летию учреждения). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):449–458.

Поступила: 25.05.2025 Принята к публикации: 10.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

The contribution of the directors to the development of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (to the 130th anniversary of the organization)

© 2025. Igor A. Ustyuzhanin✉, Valeriy A. Starikov

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

The article provides the results of research and production work of the team of scientists of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, starting from 1895, the date of establishment the Vyatka Zemsky Agricultural Experimental Station. There has been revealed the role of 18 directors in the establishment and development of the organization in different conditions of our country existence.

Keywords: *history of Vyatka agricultural science, stages of the development, directors of the organization, scientific achievements, leading scientists, Zone Scientific Research Institute of the North-East named after N. V. Rudnitsky*

***Acknowledgements*:** the work was carried out without financial support within the framework of the initiative topic.

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

***For citation*:** Ustyuzhanin I. A., Starikov V. A. The contribution of the directors to the development of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (to the 130th anniversary of the organization). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*=Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):449–458. (In Russ.).

Received: 25.05.2025 Accepted for publication: 10.06.2025 Published online: 30.06.2025

2025 год – юбилейный для Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого. Учреждение прошло путь от сельскохозяйственной опытной станции (в 1895 году создана Вятская земская сельскохозяйственная опытная станция) до федерального научного центра, объединяющего территории Кировской области, республик Марий Эл, Чувашии и Мордовии.

ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (далее – Центр) является уникальным учреждением, обеспечивающим научное сопровождение отрасли АПК на Северо-Востоке европейской части России. За весь период деятельности созданы более 180 сортов сельскохозяйственных культур, из которых более 70 возделываются в Российской Федерации на площади 4,5 млн га. В соответствии с данными Государственного реестра селекционных достижений, Центр является патентообладателем и оригинатором 149 сортов различных культур. Разработаны свыше 40 наименований энергосберегающих технологий, машин и оборудования для механизации растениеводства и животноводства,

адаптивно-ландшафтные системы земледелия для региона на площади более 260 тыс. га, новые препараты для ветеринарии, около 30 рецептур мучных кондитерских и хлебобулочных изделий.

Юбилей – это возможность подвести определенные итоги и результаты работы. При этом становление любого учреждения, его этапы развития и достигнутый статус напрямую связаны с руководителями, вклад которых оценен временем. Именно основатели и последующие руководители Центра формировали идею его развития и пути ее реализации.

Становление и развитие центра проходило в сложнейшие годы для нашей страны: Первая мировая война, революция 1917 года, гражданская и Великая Отечественная война, период восстановления, распад Советского Союза, новые рыночные условия.

Необходимо отметить, что статья содержит информацию о развитии учреждения исключительно в г. Кирове. В процессе перемещения станции с 1916 по 1933 год образована Фаленская селекционная станция – сегодня филиал Центра, которая имеет свою длительную и славную историю. В статье не упоминаются исторические аспекты развития остальных филиалов Центра – Марийского, Мордовского, Нижегородского (в составе с 2018 по 2023 год) и Чувашского НИИСХ.

Эта публикация – слова признания и благодарности руководителям станции, института, Центра. В ее основе – архивные документы из фондов музея НИИСХ Северо-Востока, отчеты о научной и производственной деятельности, информационно-справочные материалы и сборники научных трудов[1], изданные к юбилейным датам Зонального НИИСХ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (ныне ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока).

Основатели центра – начало пути

Косарев Сергей Николаевич – ученый-селекционер, сортоиспытатель, основатель и первый заведующий Вятской земской сельскохозяйственной опытной станцией, педагог, видный земский агрономический деятель, коллежский асессор, кандидат сельского хозяйства. Возглавлял станцию с 1895 по 1907 год.

С. Н. Косарев на III агрономическом съезде (1893 г.) вносит предложение об открытии в г. Вятке сельскохозяйственной опытной станции. Земство поддержало это предложение и вышло с ходатайством в правительство. 30 марта 1895 года министр земледелия и государственных имуществ А. С. Ермолов удовлетворил просьбу Вятского губернского земства и разрешил открыть кредит в сумме 2916 рублей на содержание опытной станции. 30 марта считается отправной точкой отсчета истории развития опытной станции, в настоящее время Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого.

Научная деятельность станции под руководством С. Н. Косарева была направлена на изучение отечественных и зарубежных сортов сельскохозяйственных культур для выявления наиболее продуктивных в местных условиях. По данным 10-летнего испытания (1896–1905 гг.), выделены сорта: овес Мильтон; ячмень Словацкий, Моравский; яровая пшеница Хлудовская, Уржумская, Синегорская; картофель Красный фермский и другие[2]. Положено начало селекционной работы по созданию сорта озимой ржи Вятка (С. Н. Косарев – один из авторов знаменитого сорта)[3]. Изучались также различные агротехнологические вопросы возделывания культур. Было организовано производство суперфосфата из местных фосфоритов.

Сергей Николаевич провел анализ климата г. Вятки за 52 года наблюдений, описал почвы Нолинского уезда. Полученные результаты не потеряли актуальности и сегодня.

С. Н. Косарев награжден медалью «В память 300-летия царствования Дома Романовых» (1913 г.) и орденом Святой Анны II степени (1914 г.).

В 1997 году, в год 125-летия агрономической службы Кировской области, Администрация области учредила ежегодную премию имени С. Н. Косарева за выдающиеся заслуги в области агрономии.

Дернов Михаил Александрович – заведующий, директор Вятской земской с.-х. опытной станцией (с 1907 по 1912 год), ученый агроном I разряда, выдающийся деятель русского пчеловодства первых двух десятилетий XX века.

[1]Сельскохозяйственная наука Евро-Северо-Востока Европейской части России (к 100-летию Вятской сельскохозяйственной опытной станции. Том 1. Киров, 1995. 218 с.; Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого. г. Киров, 1995. 69 с.; Зональный НИИСХ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого: 110 лет История развития и достижения. 1895–2005 гг. Киров, 2005 г. 188 с.

[2]Косарев С. Н. Отчет Вятской земской сельскохозяйственной опытной станции за 1900 г.

[3]Косарев С. Н. Отчет Вятской земской опытной сельскохозяйственной станции за 1902 г.

С приходом на станцию Михаила Александровича значительно улучшились материально-техническая база и условия проведения научных работ. Закончилась организация нового опытного поля, создана химическая лаборатория. Определенную направленность и системность получили все научные исследования. Агротехнические опыты стали закладываться в соответствии с программой, разработанной М. А. Дерновым и одобренной Губернским агрономическим совещанием[4]. Были разработаны и внедрены многопольные севообороты с полями многолетних трав. Особое внимание уделяли улучшению лугов и пастбищ. Для развития селекционных исследований был предложен проект селекционного отдела.

Многогранная практическая работа проведена по совершенствованию и популяризации в регионе пчеловодства. Михаил Александрович вошел в историю как новатор рационального пчеловодства в России – ряд лет одновременно издавал и редактировал три пчеловодных журнала[5]. Написал популярным языком и издал не один десяток разных книг и брошюр по пчеловодству, множество статей для другой периодической печати и сельскохозяйственных словарей, которые повышали интерес к пчеловодству.

Становление института

Рудницкий Николай Васильевич – директор Вятской земской с.-х. опытной станции (с 1913 по 1921 год; с 1933 по 1940 год), ученый агроном I разряда, доктор с.-х. наук, профессор, академик ВАСХНИЛ, лауреат Сталинской премии I степени. Награжден двумя орденами Ленина и двумя орденами Трудового Красного знамени. Автор знаменитых сортов озимой ржи Вятка и Вятка 2, ярового ячменя Профессор Винер, озимой пшеницы Лютесценс 116. Всего создал более 100 сортов зерновых, зернобобовых, кормовых, овощных, цветочных культур.

В марте 1913 года Николай Васильевич назначен директором опытной станции и возглавил селекционный отдел. Он сразу же организовал сбор и изучение семян местного, инорайонного и зарубежного материала. Удалось собрать 900 образцов зерновых культур, использованных в качестве исходных форм в селекционном процессе.

На смену массовому отбору Рудницкий взял за основу индивидуально-семейственный. По результатам многолетних исследований, в 1924–1926 гг. на государственное испытание передано более 60 сортов зерновых, зернобобовых культур, картофеля и льна. В 1929 году были районированы первые сорта Вятской земской с.-х. опытной станции: озимая рожь Вятка (авторы Н. В. Рудницкий, С. Н. Косарев); ячмень Профессор Винер (Н. В. Рудницкий, Е. А. Рогавская); овес Мираж (Н. В. Рудницкий, Е. А. Рогавская).

В 1920 г. станция приобрела региональный статус и была преобразована в Вятскую опытную станцию, затем – в Северо-Восточную областную сельскохозяйственную опытную станцию. В зону деятельности станции вошли 24 уезда: 11 уездов Вятской губернии; 6 – Пермской; 5 – Северо-Двинской; 1 – Казанской; 1 – Екатеринбургской губернии. Дополнительно были организованы отделы: зоотехнический, сельскохозяйственной экономики, метеорологии, применения (пропаганды).

Н. В. Рудницкий в период с 1921 по 1933 год продолжает руководить селекционным отделом и начинает исследования по селекции клевера лугового.

В 1933 г. по инициативе Н. В. Рудницкого в г. Вятка организована селекционная станция по овощным и ягодным культурам. Директором назначается Н. В. Рудницкий. Перед станцией ставится задача по созданию новых сортов овощных и ягодных культур, разработке агротехники возделывания овощей.

В 1937 г. учреждение вновь реорганизуется в комплексную станцию по растениеводству. Наряду с овощными и ягодными культурами развернуты селекционные исследования по зерновым культурам и совершенствованию агротехники возделывания. За небольшой период районировали новые сорта и гибриды огурцов, арбузов, дынь, овса Магистраль (1938 г.) и Рекорд (1940 г.), ячменя Вятский 6040 (1946 г.). В селекции арбузов и дынь широко использовали межсортовые и межродовые скрещивания. Гибрид арбуза №4 на Всесоюзной сельскохозяйственной выставке (ВСХВ) в 1939 и 1940 гг. получил высшую оценку экспертной комиссии. Интересные результаты получены при использовании метода трансплантации (прививки) дынь и арбузов на тыкву.

Многие научные сотрудники станции в предвоенные годы были участниками ВСХВ в Москве и награждены золотыми и серебряными медалями. Академик Н. В. Рудницкий награжден Большой Золотой и Большой Серебряной медалями ВСХВ.

[4]Дернов М. А. Отчет о деятельности Вятской земской сельскохозяйственной опытной станции за 1907 г.
[5]Дернов М. А. Отчет о деятельности Вятской земской сельскохозяйственной опытной станции за 1908 г.

Имя Н. В. Рудницкого в 1935 году было присвоено опытной станции, а в 1977 году – НИИСХ Северо-Востока.

Великолепов Алексей Леонидович – ученый агроном, директор Северо-Восточной с.-х. опытной станции с 1921 по 1923 год.

В середине 20-х и в 30-е годы станция претерпела целый ряд реорганизаций в связи с изменением места положения.

В 20-е годы она преобразована в Северо-Восточную (Вятско-Ветлужскую) опытную станцию (сейчас она известна как Фаленская селекционная). В 1928–1930 гг. А. Л. Великолепов – директор станции, которая в ту пору находилась в Подоплёках (п. Фаленки), он автор статей о селекции растений.

Орлов Сергей Петрович – заведующий химическим отделом, возглавлял станцию с 1923 по 1930 год. По результатам исследований за 1916–1933 гг., С. П. Орлов опубликовал работы по изучению процессов накопления нитратного азота в почве и его распределению по профилю в зависимости от системы пара, глубины обработки и количества внесенного навоза. В 1929–1935 гг. проведены исследования по изучению эффективности известкования в зернопаротравяном севообороте. Заложены первые опыты по совершенствованию агротехнических приемов возделывания многолетних трав.

Тубальцев Михаил Терентьевич – директор Северо-Восточного института зернового хозяйства с 1930 по 1934 год.

В 1930 г. произошла очередная реорганизация. На базе опытной станции организуется Северо-Восточный институт зернового хозяйства под руководством М. Т. Тубальцева.

Селекционный отдел на правах заместителя директора по научной работе возглавил Н. В. Рудницкий. В этот период прошли государственные испытания и были районированы сорта овса Жемчужина, картофеля Даль. Начатая в 1924 году селекция клевера лугового, завершилась созданием первых сортов Рассвет (1936 г.) и Стрела (1937 г.).

В 1932 г. Северо-Восточный институт зернового хозяйства преобразуется в Северо-Восточный селекционный центр.

Директорами станции в годы Великой Отечественной войны работали **Яков Георгиевич Полушин** (1940–1942 гг.) и **Иван Михайлович Семиглазов** (1942–1946 гг.).

Вся научная работа была перестроена в соответствии с требованиями военного времени на выполнение научной тематики и заданий областных организаций по производству семян зерновых и овощных культур. Именно в эти годы завершалась селекционная работа по озимой ржи, в будущем известным сортом Вятка 2. Созданы два сорта озимой пшеницы Лютесценс 116 и Эритроспермум 529. В 1944 г. сорт Лютесценс 116 районировали в 5 областях региона. Сорт Эритроспермум 529 пришел в производство в 1948 г. В разные годы ученые станции передали на государственное испытание сорта: картофеля Северная Роза, пелюшки Фаленская 42, овса Вятский 6522, ячменя 6040, огурца Вятский местный. В 1943 г. была районирована капуста Истобенская местная. В военные года опытная станция ежегодно производила 400–500 т овощей, 800 т картофеля, 15–20 т ягод, 30–40 т семян высших репродукций зерновых и до 1000 кг семян овощных культур.

Понамарев Степан Васильевич – директор станции с 1946 по 1948 год. Заместителем директора по науке работает академик Н. В. Рудницкий. В этот период разработаны приемы выращивания однолетнего лука из семян, выведены сорта огурца Пи-6, помидора Кировский №1 и Кировский №2, лука Арзамасский улучшенный и другие. Возобновляется селекционная работа с многолетними травами и льном. В 1947 году в г. Кирове состоялась сессия секции растениеводства, посвященная 70-летию со дня рождения и 45-летию научно-педагогической деятельности академика Н. В. Рудницкого. Учитывая достижения ученых в селекции различных культур и в других направлениях научных исследований, по предложению вице-президента ВАСХНИЛ академика В. П. Мосолова решено обратиться в правительство страны о создании на базе опытной станции научно-исследовательского института.

Бородин Иван Тимофеевич – кандидат с.-х. наук, директор (с 1948 по 1960 год) Зонального научно-исследовательского института земледелия Северо-Востока Европейской части СССР, организованного 19 февраля 1948 года. Научный руководитель института – академик Н. В. Рудницкий. В 1956 г. институт преобразуется в Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока Нечерноземной зоны СССР.

Для увеличения производства суперэлиты и элиты зерновых культур при институте организованы опытно-производственные хозяйства «Федяковское» и «Савальское». В эти годы селекционеры создали и передали в производство сорта: озимой ржи Фаленская, ячменя Отличник 5, пелюшки Фаленская 40 и Фаленская 39, картофеля Фаленский, клевера Кировский 159, Фаленский 1, пять сортов яблони, два сорта черной смородины, сорт крыжовника, огурец Парниковый 6. В стране высевалось более 20 сортов различных культур, созданных в НИИСХ Северо-Востока и на Фаленской селекционной станции, на площади 4,5 млн га.

Реформы и преобразования

После кончины Н. В. Рудницкого (1953 г.) и в годы последующих реформ по оптимизации науки в стране значительные изменения произошли и в Кировской области. Зональный НИИСХ предложено было перевести за 45 км от г. Кирова в Просницу. В 1960 году начался настоящий разгром коллектива института. Семьдесят процентов ученых и специалистов ушли в набирающий силу и значимость Кировский сельскохозяйственный институт. Директор Зонального института перешел в Кировский педагогический институт на естественно-географический факультет. По результатам хрущевской оптимизации объемы селекционных работ и их результативность стали затухать. Значительно уменьшились объемы НИР, сократилось число научных сотрудников, ослабло научное обеспечение сельскохозяйственного производства. Стало меньше издаваться научной литературы, проходить научно-практических конференций, семинаров, выставок.

В 1967 г. после решения правительства РСФСР Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока был восстановлен. На него возложили обязанности по обеспечению эффективного использования земельных ресурсов, увеличению производства продукции растениеводства и животноводства, осуществлению научно-методического руководства и координацию научных исследований по сельскому хозяйству в зоне Северо-Востока. Для выполнения поставленных задач в институте организовали подразделения по селекции и семеноводству, агрохимии, земледелию и растениеводству, овощеводству, животноводству, механизации и экономике.

Баженова Нина Михайловна – кандидат с.-х. наук, директор НИИСХ Северо-Востока с 1967 по 1971 год.

27 июля 1967 г. приказом Министерства сельского хозяйства РСФСР институт был восстановлен. Директором института утвердили Н. М. Баженову. В 1969 г. приказом Министерства сельского хозяйства РСФСР в НИИСХ Северо-Востока создан селекционный центр по селекции зерновых, зернобобовых и крупяных культур. На выделенные государственные средства развернулось производственное и жилищное строительство.

Блестящие организаторские способности Нины Михайловны и особое чутье на поиск молодых талантливых научных сотрудников особенно ярко проявились на административной работе. Одновременно с подбором научных кадров пришлось решать вопросы по созданию научно-производственной и социально-бытовой базы. Была подготовлена проектная документация и начато строительство лабораторного корпуса, складского комплекса для селекционеров и 70-квартирного благоустроенного жилого дома. Все объекты, несмотря на протесты городской архитектуры, были привязаны к исторической территории института. Одновременно удалось утвердить генеральный план застройки отведенного земельного участка. Несмотря на большую административную нагрузку, Нина Михайловна не прекращала научную работу по селекции яровой пшеницы. За восемь лет напряженной работы удалось выделить богатейший селекционный гибридный материал. Так, в 1975 г. в селекционных питомниках изучалось более 17 тыс. семей, выделенных из гибридных популяций, в том числе с участием сортов озимой пшеницы.

Под руководством Н. М. Баженовой были созданы высокоурожайные сорта яровой пшеницы Северо-Восточная, Лютесценс 44 и Кировчанка. Сорт Лютесценс 44 был районирован по южной зоне Кировской области.

Посвятив всю свою жизнь административно-научной работе, Нина Михайловна находила время и для общественных дел. Являясь внештатным инспектором-методистом Министерства сельского хозяйства СССР, осуществляла контроль за методикой селекции зерновых культур на селекционных станциях страны. Уделяла большое внимание связи науки с производством, курируя семеноводство зерновых культур в семеноводческих хозяйствах области. Неоднократно избиралась в областной и городской Совет народных депутатов.

Ярмоленко Сергей Алексеевич – кандидат с.-х. наук, заслуженный зоотехник РСФСР, директор НИИСХ Северо-Востока с 1971 по 1976 год.

В конце 60-х годов в стране начался новый этап по развитию животноводства с переводом его на промышленную основу. С восстановлением НИИСХ Северо-Востока в институте организованы лаборатории скотоводства, свиноводства, группы птицеводства, пчеловодства, рыбоводства. В этот период в стране началось строительство и ввод в эксплуатацию крупных животноводческих комплексов по производству мяса и молока на промышленной основе. Создание новых технологий требовало комплексной научной проработки всей системы ведения с.-х. производства.

Исследования в области скотоводства осуществляли кандидат с-х. наук Л. А. Дубовцева и В. М. Мухамадьянов. По проблемам свиноводства научную работу возглавлял кандидат с.-х. наук С. А. Ярмоленко – один из специалистов, участвовавший в создании племенного стада Уржумской породы свиней в Кировской области. Лабораторией птицеводства руководила В. Г. Фролова. По результатам исследований были созданы и широко использовались зоотехнической службой области рекомендации по технологии производства молока, говядины, свинины на промышленных комплексах.

С организацией Северо-Восточного селекционного комплекса в 1969 г. значительно оживились научные исследования по селекции растений. В институте и на Фаленской селекционной станции восстановили селекцию клевера лугового под руководством кандидата с.-х. наук З. И. Пилатович и Е. В. Никифоровой. В 1974 г. районировали сорт яровой пшеницы Лютесценс 44 (автор Н. М. Баженова). После 20-летнего перерыва Н. А. Родиной были созданы два сорта ячменя: Луч (интенсивного типа) и скороспелый Север 1. Э. С. Денисова на Фаленской станции вывела новые сорта овса Фаленский и Скороспелый.

Родин Евгений Алексеевич – кандидат с.-х. наук, заслуженный агроном РСФСР, директор НИИСХ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого с 1976 по 1987 год. Награжден двумя орденами Знак Почета.

В истории института и всей страны в 70–80-е годы прошлого столетия открывались исключительные возможности для творческой деятельности ученых. Были выделены значительные финансовые средства, происходило постоянное обновление материально-технической базы. Невиданный размах приобрело производственное и жилищное строительство. Усилилась работа по внедрению научных достижений и передового опыта в сельское хозяйство. Наука становилась непосредственной производительной силой общества. На волне всеобщего интереса к науке в институте открываются новые научные направления и подразделения: лаборатория генетики, отдел кормопроизводства, лаборатория селекции и семеноводства многолетних трав. В составе отдела земледелия создается группа мелиорации почв во главе с кандидатом с.-х. наук И. Г. Юлушевым. В отделе кормопроизводства (зав. кандидат с.-х. наук В. А. Фигурин) организована группа луговодства под руководством кандидата биол. наук А. М. Пятина. В 1980 г. на опытной станции животноводства и кормопроизводства открыли лабораторию по технологии заготовки и хранению кормов во главе А. П. Андрусинник. Большие перемены произошли в структуре отдела животноводства. В 1978 г. под руководством кандидата биол. наук К. А. Опекунова создали лабораторию воспроизводства с.-х. животных. В течение 10 лет с участием доктора вет. наук А. И. Варганова был разработан популярный препарат Биосан для профилактики и лечения эндометритов у коров. В 1987 г. для решения проблем по технологии трансплантации эмбрионов открыли соответствующую лабораторию во главе с кандидатом биол. наук. В. И. Нетечей. В 1977 г. организовали два опытных поля для проведения селекционных и технологических опытов, мелиоративный полигон. В 1979 г. на полном хозрасчете основано проектно-конструкторское бюро (первый руководитель – кандидат техн. наук В. И. Рублев). В эти годы создана основная материально-техническая база селекционного центра. В 1982 г. начал функционировать селекционный комплекс с теплицами на 1500 кв. м. с вегетационным домиком и залом климакамер. Построено 5 арочных складов, послеуборочный комплекс с 7 поточными линиями по очистке, сушке и сортированию семян, помещение для обмолота снопового материала, картофелехранилище, ангар для хранения малогабаритной техники, автомобильный гараж

на 32 автомобиля. На поля области и других регионов страны пришли новые сорта интенсивного типа: озимая рожь Голубка, ячмень Викинг, овес Кировский, Фаленский 3, пелюшка Надежда, картофель Новинка, Вятка и Роза, клевер луговой Фаленский 86, ежа сборная Хлыновская, овсяница тростниковая Кировская 50, черная смородина Северянка и Вятка.

Для укрепления связи науки с практикой в марте 1984 г. было организовано Научно-производственное объединение «Луч» в составе НИИСХ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого (головная организация), проектно-конструкторское бюро, Фаленская селекционная станция, Кировская опытная станция животноводства и кормопроизводства, пять опытно-производственных хозяйств в различных зонах области. В самом институте за координацию работ отвечал производственный отдел (Ф. А. Киселев).

На исторических землях, где в 30-е годы создавалась опытная станция, вырос уютный научный городок. В 1974 и 1978 гг. построили два 70-квартирных жилых дома для сотрудников и специалистов института. В 1985 и 1989 гг. введен в строй 176-квартирный дом, общежитие на 90 комнат, детский сад, квартальная котельная.

В 1986 г. коллектив Научно-производственного объединения «Луч» стал победителем Всесоюзного социалистического соревнования и был награжден Переходящим Красным знаменем и Дипломом ЦК КПСС, Совета Министров СССР, ВЦСПС и ВЛКСМ.

Киселев Николай Петрович кандидат экономических наук, директор НИИСХ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого с 1987 по 1990 год. Лауреат Государственной премии за 1999 г.

В январе 1987 г. институт возглавил Н. П. Киселев и активно начал заниматься опытными станциями и опытно-производственными хозяйствами. Для того времени в организации научной деятельности это было весьма важное звено. ОПХ являлись основной экспериментальной базой для проведения и проверки научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок.

Общая земельная площадь опытно-производственных хозяйств составляла 41,7 тыс. га, в том числе 28,1 тыс. га сельскохозяйственных угодий. В хозяйствах содержалось 8,9 тыс. голов крупного рогатого скота, в том числе 3,2 тыс. коров, 600 голов свиней. Производство молока ежегодно достигало 11,2 тыс. тонн, мяса – 1,1 тыс. тонн, зерна – 24 тыс. тонн. За последние 10 лет урожайность зерновых составила 2,5 т/га, в некоторые годы достигала до 4,2 т/га. Ежегодно хозяйства реализовывали 6,7 тыс. тонн семян зерновых и зернобобовых культур, 19 тонн многолетних трав, 2,5 тыс. тонн картофеля, 9,5 тыс. тонн молока, 1 тыс. тонн мяса.

По инициативе Николая Петровича в НПО «Луч» и области начали создавать научно-производственные системы для внедрения научных достижений и передового опыта в практику. В 1987 г. под руководством В. А. Тупицына заработала НПС «Клевер», и через 5 лет основана НПС «Луга». В Кировской области были внедрены НПС «Мясо», «Молоко», «Зерно» и «Корма». В 1992 г. на базе научно-производственных систем, предприятий и хозяйств области организовали ассоциацию «Аэлита». Коллектив ученых и специалистов на договорных условиях сотрудничал с региональными органами АПК и сотнями хозяйств Кировской, Архангельской, Владимирской, Вологодской, Костромской, Пермской, Ярославской областей, республик Марий Эл, Удмуртии, Коми. Результаты научной и внедренческой работы НПС «Клевер» и ассоциации «Аэлита» при непосредственном участии ученых НИИСХ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого позволили вырастить самое молодое клеверное поле Нечерноземья, сохранить плодородие сотен тысяч гектаров земли, качественно улучшить кормовую базу животноводства. В сельскохозяйственное производство были быстро и успешно внедрены новые высокопродуктивные разнопоспевающие сорта клевера лугового Дымковский, Трио, Кудесник и другие. В 1999 году наши ученые Е. В. Никифорова, М. И. Тумасова и Н. П. Киселев отмечены Государственной премией за работу «Сорта клевера лугового нового поколения – основа устойчивого производства и биологизации Нечерноземья России».

Современность

Сысуев Василий Алексеевич – доктор техн. наук, профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, директор НИИСХ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого с 1990 по 2017 год.

Василий Алексеевич 26 января 1988 г. принят в НПО «Луч» НИИСХ Северо-Востока на должность заместителя директора по научной

работе и заведующего отделом механизации. Молодому энергичному специалисту удалось в короткий срок сформировать работоспособный отдел механизации в составе лабораторий механизации полеводства, зерно-семяочистительных машин и механизации животноводства.

В сентябре 1990 г. В. А. Сысуева назначили директором НПО «Луч» и НИИСХ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого. Наследство Василию Алексеевичу досталось исключительно достойное, с богатейшей историей и выдающимися научными достижениями.

Отдавая дань глубокого уважения поколениям ученых, академик А. А. Жученко отмечал: «Авторитет ученых коллектива НПО «Луч» настолько велик, что единогласно принято решение создать на их базе Научно-методический центр Северо-Востока АПК России». Который и был создан согласно постановлению Правительства РФ и приказу Россельхозакадемии №29 от 1 апреля 1996 г.

Руководителем центра стал В. А. Сысуев. В годы очередных экономических реформ в стране в науке возникли серьезные проблемы с бюджетным финансированием. Василий Алексеевич нашел ряд неожиданных решений. Учитывая высокую результативность по селекции пивоваренных и кормовых сортов ячменя, построили мини-пивзавод производительностью 1000 литров в сутки. Это дало возможность за год получать около 1 млн руб. прибыли. За счет собственных хозрасчетных средств построили мини-пекарню для выпечки ржаного хлеба из зерна созданных в институте сортов озимой ржи. С помощью Россельхозакадемии удалось значительно увеличить бюджетное финансирование селекционного комплекса на покрытие производственных затрат. Благодаря принятым мерам удалось сохранить научные коллективы и обеспечить перспективы на будущее развитие научных исследований.

Для подготовки собственных высококвалифицированных молодых научных кадров по предложению Василия Алексеевича в институте открыли аспирантуру очного обучения по агрохимии, селекции и семеноводству, земледелию и механизации сельскохозяйственного производства. Под руководством Н. П. Сысуевой по количеству и качеству обучающихся аспирантура стала одной из лучших в системе Россельхозакадемии. В институте была выстроена высокоэффективная система подготовки кандидатов и докторов наук. Учиться и повышать научный уровень стало выгодно. Все затраты на обучение оплачивались администрацией.

Открыли диссертационный Совет по защите кандидатских и докторских диссертаций под руководством В. А. Сысуева. К 2018 году в коллективе уже трудилось 20 докторов и 60 кандидатов наук.

При подготовке к 100-летию Вятской сельскохозяйственной науки в институте открыли новые направления исследований по агроэнергетике, эдафической устойчивости растений, переработке озимой ржи, селекции яровой пшеницы, иммунитету и защите растений, кормлению животных, пчеловодству. Организована эколого-географическая сеть опытов, охватывающая основные агроклиматические зоны Северо-Восточного региона Европейской части России.

В 1995 году был организован научно-инженерный центр под руководством В. А. Сысуева в составе пяти лабораторий и проектно-конструкторского бюро, где трудилось 80 инженерно-технических работников, из них 8 докторов, 20 кандидатов техн. наук и 14 аспирантов. За последние 29 лет было разработано более 40 наименований новых энергосберегающих технологий и машин, новизна которых защищена более 150 авторскими свидетельствами и патентами РФ на изобретения.

В эпоху В. А. Сысуева получила дальнейшее развитие селекционная школа, основанная Н. В. Рудницким и его последователями. Созданы и возделываются в производстве более 105 сортов различных культур. Площадь посева под сортами института составляет более 4,8 млн га. Сорта озимой ржи Фаленская 4, овса Кречет, клевера лугового Дымковский входят в десятку наиболее распространенных в РФ. В Кировской области сорта зерновых, зернобобовых культур и многолетних трав селекции института занимают ежегодно 70–90 % посевных площадей. Учеными института проводятся фундаментальные исследования по селекции и биотехнологии сельскохозяйственных культур, эдафической устойчивости растений, по животноводству, земледелию, ветеринарии.

По инициативе Василия Алексеевича значительно расширились научные связи ученых с головными всероссийскими учреждениями: ВНИФ, ВИР, ВИМ, ВИЭСХ, ВИК и другими.

Успешно развивается сотрудничество с зарубежными коллегами. Заключены договора с Институтом IBMEP (Польша), БНИИМСК (Беларусь), Институтом местной продукции, Байченской сельскохозяйственной академией и Цзилиньским аграрным университетом. Комитет по науке и технике провинции Цзилинь (Китай) организовали китайско-российские научные центры по грибным ресурсам и плодово-ягодным культурам.

Увеличилась публикационная активность сотрудников института, была организована минитипография, ежегодно издавались научные труды, монографии, научно-практические рекомендации, печатались диссертации сотрудников. С 2000 года и по настоящее время В. А. Сысуев является главным редактором высокорейтингового научного журнала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока «Аграрная наука Евро-Северо-Востока».

В настоящее время академик РАН Василий Алексеевич Сысуев продолжает работу в качестве научного руководителя Центра.

За последние 20 лет сотрудниками института защищены 25 докторских и 80 кандидатских диссертаций. В коллективе трудятся 2 академика и член-корреспондент РАН.

Продолжается плодотворное сотрудничество с КНР. В последние годы китайскими и российскими селекционерами создан сорт озимой ржи БК-0.1, занимающий основные площади в Китае. Руководство страны высоко оценило выдающийся вклад в процесс модернизации Китая и развития китайско-российского научного сотрудничества, наградив В. А. Сысуева высшей наградой Правительства Китая для зарубежных специалистов – Премией Дружбы.

Василий Алексеевич, будучи доктором техн. наук, является тонким знатоком и духовным ценителем культуры озимой ржи. Его интервью в аргументах недели (№32(929) 14 августа 2024 г. «Ржаной хлеб – спасение для здоровья и возрождения русской земли» просто взорвало Интернет и в полной мере раскрыло гражданскую позицию известного ученого – патриота России.

Алешкин Алексей Владимирович – доктор техн. наук, профессор, директор (2017–2019 гг.) ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, созданного в ноябре 2017 года на базе НИИСХ Северо-Востока.

В соответствии с приказом Федерального агентства научных организаций от 10 мая 2017 г. № 308 Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (далее – ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока») реорганизовано в форме присоединения к нему ФГБНУ «Северо-Восточный региональный аграрный научный центр», ФГБНУ «Фалёнская селекционная станция НИИСХ Северо-Востока», ФГБНУ «Нижегородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», ФГБНУ «Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», ФГБНУ «Мордовский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» и ФГБНУ «Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» с последующим переименованием в ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого».

Первым директором стал А. В. Алешкин. За два года работы Алексей Владимирович сохранил коллектив работников Центра, провел ремонт основного и селекционного корпусов. Проведена огромная работа по выстраиванию системы взаимодействия с филиалами. Алексей Владимирович, помимо административной деятельности, внес существенный вклад в развитие теоретических основ исследования технологических процессов механизации сельского хозяйства.

Заключение. Совокупный вклад руководителей в становление и развитие Вятской аграрной науки на протяжении 130 лет позволил сформировать научный и производственный потенциал Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, создать сплоченный творческий коллектив ученых-аграриев, обладающих глубокими профессиональными знаниями, и обеспечить преемственность поколений ученых.

К числу наиболее значимых современных достижений относится реализация на базе ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (с 2021 по 2024 год) программы развития селекционно-семеноводческого центра по зерновым и зернобобовым культурам с целью внедрения собственных разработок в рамках реализации НП «Наука и университеты». Благодаря полученному гранту удалось обновить парк крупногабаритной сельхозтехники и научное оборудование. С 2025 года начата реализация новой программы Селекционно-семеноводческого центра на период до 2027 года.

Согласно программе развития Центра созданы 3 новых лаборатории: лаборатория молекулярной биологии и селекции; лаборатория селекции овощных культур; лаборатория биотехнологических методов селекции сельскохозяйственных растений.

В целом за последние 5 лет учеными ФАНЦ Северо-Востока по разным направлениям исследований разработаны 4 технологии, 3 методики, 5 руководств. Переданы на Госсортоиспытание 27 сортов сельскохозяйственных культур. За 5 лет Центром получено 34 патента на селекционные достижения, изобретения и полезные модели, 3 свидетельства на программу для ЭВМ, 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных.

Налажено взаимодействие с сельхозпроизводителями и бизнесом. Регулярно проводятся в регионах «Дни поля», закладываются демонстрационные посевы, организуются выставки новой техники и современных технологий. Проведена оценка агроэкономической эффективности удобрений в условиях Кировской области совместно с ООО «Спецхимагро», «Кубань Агро Ресурс», «Органик Логос», ТД «Уралхим» и другими.

В 2024 г. сотрудники лаборатории плодово-ягодных культур отмечены премией имени Н. В. Рудницкого за научно-исследовательские работы по селекции и питомниководству ягодных культур в условиях Волго-Вятского региона.

Современные реалии функционирования Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого требуют достижения мирового уровня исследований, их инновационной составляющей и практической направленности. Высокий профессионализм коллектива Центра, целеустремленность, созидательная энергия и творческий потенциал ветеранов науки и молодых ученых, бережное отношение к заложенным традициям – одно из непременных условий готовности научного коллектива принять вызовы и реализовать возможности Науки Будущего.

Сведения об авторах

✉ **Устюжанин Игорь Александрович,** кандидат с.-х. наук, директор, 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

Стариков Валерий Аркадьевич, кандидат с.-х. наук, зав. музеем, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Information about the authors

✉ **Igor A. Ustyuzhanin,** PhD in Agricultural Science, director, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Valeriy A. Starikov, PhD in Agricultural Science, Head of the museum, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007,
e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

**ПРОГРАММНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СТАТЬЯ /
PROGRAM-ANALYTICFL ARTICLE**

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.459–469
УДК 63.001(576)

(cc) BY

Состояние и перспективы развития аграрной науки на Дальнем Востоке

А. Г. Клыков ✉

ФГБНУ «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», г. Уссурийск, п. Тимирязевский, Российская Федерация

В данной статье рассматривается современное состояние, проблемы и основные результаты деятельности научных учреждений сельскохозяйственного профиля на Дальнем Востоке. Приведена структура посевных площадей основных сельскохозяйственных культур в Дальневосточном федеральном округе за 1990–2024 гг. Показано, что за этот период произошло резкое увеличение площадей под соей до 1,251 тыс. га (доля составляет около 68 % от всей площади) и кукурузой на зерно – 165 тыс. га, значительное снижение под зерновыми и кормовыми культурами, картофелем и овощами. Рассматриваются основные проблемы, с которыми сталкивается растениеводство, несоблюдение севооборотов, изменение климата, связанное с увеличением числа тропических циклонов (тайфунов) в Приморском крае, что приводит к значительному переувлажнению почвы, массовому полеганию посевов, развитию грибных, бактериальных и вирусных болезней, вредителей. Представлены приоритетные исследования и разработки, связанные с селекцией сои, картофеля, кукурузы, риса, гречихи, направленные на реализацию Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации. За последние годы дальневосточными селекционерами создано 52 новых сорта сельскохозяйственных культур, рекомендованных для использования в сельскохозяйственном производстве региона: сои – 17, пшеницы – 3, овса – 4, ячменя – 3, риса – 2, картофеля – 3, гречихи – 1, фасоли – 1, томата – 3, огурца – 3, многолетних трав – 2 и плодово-ягодных культур – 10 сортов. Особое внимание уделено перспективным направлениям в области ветеринарной медицины, биотехнологии, зоотехнии, цифровых технологий и технологий точного земледелия, мелиорации в условиях изменения климата.

Ключевые слова: *приоритетные направления, агропромышленный комплекс, соя, рис, кукуруза, картофель, сорт*

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Клыков А. Г. Состояние и перспективы развития аграрной науки на Дальнем Востоке. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):459–469. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.459-469

Поступила: 25.04.2025 Принята к публикации: 30.04.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

The state and prospects of agrarian science in the Russian Far East

Aleksei G. Klykov ✉

Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaiki», Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Russian Federation

The article reviews the current state, problems, and main achievements of scientific agrarian institutions in the Russian Far East. The structure of the arable land area for the main agricultural crops in the Far Eastern Federal District over 1990–2024 has been described. Over this period, a rapid increase was observed in the area of the arable land sown by soybean (around 68 % of the total arable land) and by grain corn – 1251 and 165 thousand ha, respectively. Simultaneously, a decrease was observed in the area of the arable land planted by grain and forage crops, potato, and vegetables. The paper reviews the main problems of horticulture – failure to follow the crop rotation guidelines and climate change with an increased number of tropical cyclones (typhoons) in Primorsky Kray, which leads to soil saturation and waterlogging, crop lodging, and the development of fungal, viral and bacterial diseases, and pests. The article presents high-priority research dedicated to the breeding of soybean, potato, corn, rice, and buckwheat and aimed at achieving the goals of The Food Security Doctrine of the Russian Federation. Over the last years, Far Eastern breeders created fifty-two new cultivars of agricultural crops recommended to use in the regional agricultural production: soybean – 17, wheat - 3, oat – 4, barley – 3, rice – 2, potato – 3, buckwheat – 1, bean – 1, tomato – 3, cucumber – 3, perennial grasses – 2, and fruit and berry crops – 10. Special attention is given to high-priority research areas in veterinary medicine, biotechnology, zootechnics, digital technologies and technologies of precision agriculture, and land improvement in the conditions of climate change.

Keywords: *research areas of high priority, agro-industrial complex, soybean, rice, corn, potato, cultivar*

Acknowledgements: the research was conducted without funding within research initiative.

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

For citation: Klykov A. G. The state and prospects of agrarian science in the Russian Far East. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):459–469. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.459-469

Received: 23.04.2025 Accepted for publication: 30.04.2025 Published online: 30.06.2025

Дальний Восток – крупнейший административный и экономический регион Российской Федерации (объединяет 11 субъектов, в 2018 г. в состав федерального округа включены Республика Бурятия и Забайкальский край), занимающий важное геополитическое положение в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Это не только большая, но и самая отдалённая территория Российской Федерации с неограниченными потенциальными возможностями, с большими контрастами в природно-экономическом отношении, протяженность с юга на север более 3700 км [1]. Здесь сосредоточено около 65 % сырьевых ресурсов страны. Придавая большое значение необходимости использования природно-сырьевых ресурсов на пользу России, вполне естественно, что развитию аграрного сектора экономики региона здесь должно уделяться значительное внимание. В этих условиях несомненной является необходимость производства на месте основных продуктов питания, таких как мясо, молоко, картофель, овощи, фрукты и ягоды во всех субъектах этого региона [2].

Однако в ведении агропромышленного производства имеются значительные сложности – не хватает тепловых ресурсов, низкое естественное плодородие почвы, проявление муссонного климата на большинстве территорий региона (сопровождающиеся тайфунами и циклонами). Сумма активных температур выше +10 °С по регионам составляет от 1000 °С в Магадане и Якутии до 2600 °С на юге региона. В весенне-летний период сельскохозяйственное производство подвержено засухе и переувлажнению почвы, что негативно сказывается на возделывании сельскохозяйственных культур. Высокая влажность и температура воздуха способствуют развитию многочисленных грибных, бактериальных и вирусных болезней, благоприятствуют распространению сорных растений, а также размножению вредителей [1, 3, 4].

Поэтому важная роль в регионе отводится сельскохозяйственной науке, которая имеет более чем вековую историю. В ходе развития аграрной науки организация научных учреждений в субъектах Дальневосточного региона была направлена на решение задач, которые имели географическую локализацию. Научное обеспечение агропромышленного комплекса выполнялось 11 институтами и 4 опытными станциями, которые находились под научно-методическим руководством Дальневосточного регионального аграрного научного центра. С 1997 по 2015 год Центр возглавлял академик А. К. Чайка (рис. 1), это был один из самых продуктивных периодов работы научных учреждений в регионе. На Совете Центра рассматривались вопросы многосторонней жизни НИУ, проводились Общие годичные собрания ученых-аграриев, выездные заседания совместно с Президиумом Россельхозакадемии, научные сессии, научно-практические конференции, значительно окрепли научные позиции аграрной науки на Дальнем Востоке.



Рис. 1. **Слева направо: академик А. К. Чайка, академик Г. А. Романенко, профессор А. А. Моисеенко (100-летие аграрной науки на Дальнем Востоке, пос. Тимирязевский, Приморский край, 2008 г.) /**

Fig. 1. **From the left to the right: academician A.K. Chaika, academician G.A. Romanenko, professor A.A. Moiseenko (the 100th anniversary of agrarian science in the Russian Far East, Timiryazevsky stl., Primorsky Kray, 2008)**

Следует отметить, что за последние годы в результате проводимых реформ количество научно-исследовательских учреждений сельскохозяйственного профиля на Дальнем Востоке, имеющих юридическую самостоятельность, значительно сократилось (до 3), что явно не способствует их эффективному развитию и недостаточно для территории, занимающей 40,6 % Российской Федерации.

В настоящее время (по состоянию на 01.01.2025) научное обеспечение АПК Дальневосточного региона осуществляют: ФНЦ ВНИИ сои (г. Благовещенск, Амурская область); ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки (г. Уссурийск, пос. Тимирязевский, Приморский край); Дальневосточный НИИСХ – обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН (г. Хабаровск, Хабаровский край); Камчатский НИИСХ – филиал ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (с. Сосновка, Елизовский район, Камчатский край); Сахалинский НИИСХ – филиал ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (г. Южно-Сахалинск, пл. р-н Новоалександровск, Сахалинская область); Магаданский НИИСХ – филиал ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (г. Магадан, Магаданская область); Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт (г. Благовещенск, Амурская область); Приморская ООС – филиал ФНЦ овощеводства (с. Суражевка, г. Артем, Приморский край); Дальневосточная опытная станция – филиал ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (г. Владивосток, Приморский край).

Определяющим фактором устойчивого сельскохозяйственного производства является эффективное использование земельных ресурсов. Дальний Восток имеет большой потенциал для развития сельскохозяйственной деятельности в области растениеводства. Площадь пашни в Дальневосточном регионе составляет 3692 тыс. га. Наибольшие посевные площади в Амурской области – 1315 тыс. га и Приморском крае – 744 тыс. га, где возделываются соя, кукуруза, зерновые, кормовые, плодовые и ягодные культуры, гречиха, рис, картофель и овощи, ведется животноводство и пчеловодство.

На Дальнем Востоке резерв увеличения площади пашни, выведенной из оборота, составляет около 30 %, который может быть использован для увеличения посевных площадей под приоритетными культурами. По мнению академика А. К. Чайки, учитывая огромную территорию Дальнего Востока и различия в природных условиях, при организации научных исследований за основу должен быть взят программно-целевой принцип. Необходимо определить приоритетные направления с учётом природных условий региона. Сформировать исследовательские программы и государственные задания, нацеленные на развитие территории. Сконцентрировать ресурсы научных коллективов для решения поставленных конкретных задач [1]. Эти принципы в современных экономических условиях приобретают особую актуальность и соответствуют стратегии развития страны.

Анализ структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур за 1990–2024 гг. показал, что за этот период произошло резкое увеличение площадей под соей до 1,251 тыс. га (на 656 тыс. га) и кукурузой на зерно – 165 тыс. га (в 1990–2000 гг. не было посевов), снижение под зерновыми и кормовыми культурами (на 563 и 969 тыс. га соответственно), картофелем и овощами (рис. 2). Интерес к сое с каждым годом возрастает. С 1990 г. производство сои увеличилось в 2,5 раза, кукурузы в 10 раз. Рост производства этих культур связан со сравнительно благоприятными погодными условиями и выгодным расположением региона относительно стран-импортеров этой культуры – Китая, Южной Кореи.

В 2024 г. в структуре посевных площадей наибольший удельный вес около 68 % занимает соя. В связи с увеличением посевных площадей под этой культурой не соблюдается система чередования сельскохозяйственных культур (севообороты), что приводит к значительному увеличению поражения болезнями, вредителями, снижению плодородия почвы, нарушению экологической безопасности биоценозов.

Для соблюдения севооборотов требуется ежегодная корректировка посевных площадей по их увеличению под зерновыми и крупяными культурами, многолетними травами и кукурузой. В Дальневосточном регионе разработаны системы земледелия и рекомендуются все типы полевых севооборотов. Исследованиями установлена целесообразность использования севооборотов с насыщением сои 30–40 %.

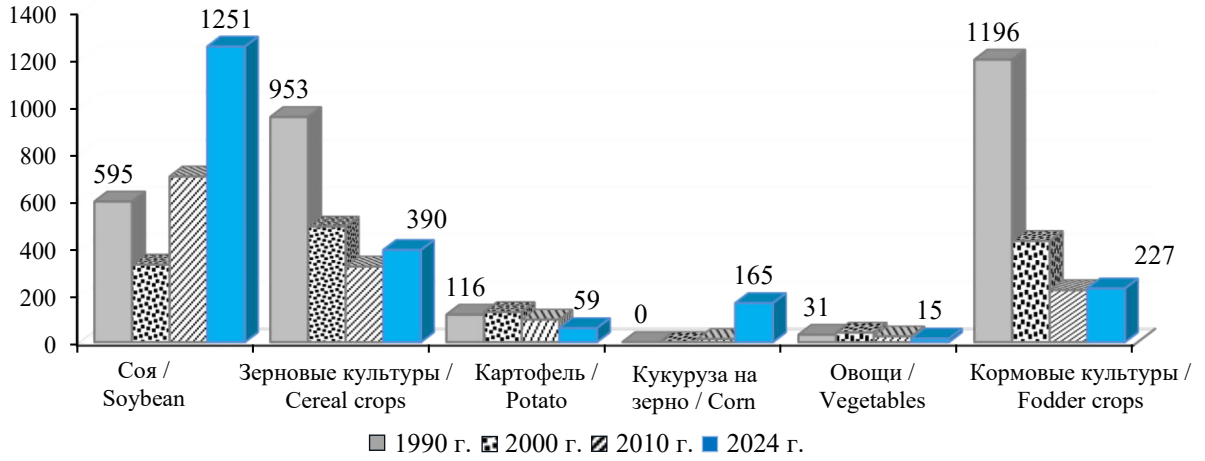


Рис. 2. **Структура посевных площадей основных с.-х. культур на Дальнем Востоке, тыс. га (1990–2024 гг.) /**

Fig. 2. **Structure of arable land area in the Russian Far East, thousand hectares (1990–2024)**

Главным лимитирующим фактором получения устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур является резкая контрастность метеорологических условий сезона года и действие муссонов. Кроме циклонов умеренных широт, существуют тропические циклоны (тайфуны), возникающие в северо-западной части Тихого океана (5–30 с. ш. и 110–145 в. д.), которые вносят свой вклад в формирование особенностей действия атмосферной циркуляции над акваторией северной части Тихого океана. Обильные дожди являются причиной наводнений, которые могут повторяться за летний период (июль – август) несколько раз, вызывают переувлажнение почвы, массовое полегание посевов, резко ухудшаются условия произрастания растений, что обуславливает прорастание зерна на корню, вымокание и полную гибель. Следует учесть, что затапливаемые земли – это в основном плодородные, легкие по гранулометрическому составу почвы пойм рек и первые надпойменные террасы рек Амура, Зеи, Уссури. Эти почвы характеризуются промывным режимом, вследствие чего увеличиваются потери минерального азота, водорастворимых форм фосфора, калия и микроэлементов.

Проведенный анализ агроклиматических ресурсов в Приморском крае показал увеличение числа тропических циклонов за последние 15 лет, когда на край обрушивается два тайфуна за небольшой промежуток времени (до 150 мм и более в сутки) с ураганным ветром, это, как правило, приходится на июль – сентябрь [5] (табл.). Большая пространственная неоднородность сельскохозяйственных угодий и типов почв определяет сильную зависимость аграрного сектора от региональных колебаний и изменений климата.

С учетом вышеизложенного, требуется усиленное внимание к проблеме климатической адаптации земледелия, которая всегда была определяющей, но недостаточно разработанной особенно для территорий Дальнего Востока.

В связи с этим важнейшей задачей является усиление научных направлений по мелиорации земель и механизации (необходимо более широкое использование комбайнов на гусеничном ходу), рекомендуется разработка и совершенствование систем воспроизводства плодородия почв, адаптивно-ландшафтных систем земледелия на основе применения инновационных биологических и химических препаратов. На современном этапе задача селекционеров – создать сорта нового поколения, устойчивые к избыточному переувлажнению почвы.

Географическое положение и почвенно-климатические условия позволяют выращивать на территории Дальневосточного региона ряд ценных сельскохозяйственных культур, в том числе приоритетных в основной земледельческой зоне – сою, картофель, рис, кукурузу.

В результате деятельности научных учреждений в регионе выведен ряд новых высокопродуктивных и конкурентоспособных сортов. На 2025 г. в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории Дальнего Востока, включены более 200 сортов различных сельскохозяйственных культур, созданных местными селекционерами. Так, за последние

пять лет выведено 52 новых сорта сельскохозяйственных культур: сои – 17, пшеницы – 3, овса – 4, ячменя – 3, риса – 2, картофеля – 3, гречихи – 1, фасоли – 1, томата – 3, огурца – 3, многолетних трав – 2 и плодово-ягодных культур – 10 для использования в сельскохозяйственном производстве Дальнего Востока и Сибири. Для каждого сорта разработаны технологии возделывания с применением современных приемов и препаратов, позволяющие в изменяющихся климатических условиях реализовать продуктивный потенциал. В Доктрине продовольственной безопасности РФ обозначено, что минимальное значение уровня самообеспечения страны семенами сельскохозяйственных культур отечественной селекции должно составлять 75 %. Сортами отечественной селекции ежегодно засевается не менее 60 % посевных площадей Дальнего Востока. Наиболее остро проблема обеспечения 75%-го порога стоит по картофелю и кукурузе.

Таблица – **Характеристика тихоокеанских тайфунов в Приморском крае за период 1980–2024 гг. (по данным Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды) /**
Table – **Characteristics of the Pacific typhoons in Primorsky Kray over 1980–2024 (according to the data provided by the Regional Administration of Primorsky Kray for Hydrometeorology and Environmental Monitoring)**

Название тайфуна / Typhoon name	*Год / Year*	*Месяц / Month*	*Скорость ветра, м/с / Wind speed, m/s*	*Осадки за период тайфуна, мм / Precipitation during the typhoon, mm*	*Среднемноголетняя норма осадков, мм / Long-term annual average, mm*
Орхид / Orkhid	1980	Сентябрь / September	35–40	174,4	104,0
Джуди / Judi	1989	Июль / July	166	133,2	90,0
Робин / Robin	1990	Июль / July	35–40	120,8	90,0
		Август / August		225,6	134,0
Мелисса / Melissa	1994	Сентябрь / September	30–40	261,5	104,0
Руса / Rusa	2002	Август / August	10–20	195,7	134,0
Болавин / Bolaven	2012	Август / August	10–20	161,7	134,0
		Сентябрь / September		132,5	104,0
Чан-хом / Chan-hom	2015	Июль / July	25–30	106,3	90,0
Гони / Goni	2015	Август / August	10–20	226,7	134,0
Лайонрок / Lionrock	2016	Июль / July	10–15	152,3	90,0
		Август / August		174,1	134,0
Нору / Noru	2017	Июль/ July	10–15	209,9	90,0
		Август / August		274,5	134,0
Румбия / Rumbia	2018	Июль / July	10–15	347,7	90,0
		Август/ August		138,8	134,0
Кроса / Krosa	2019	Август / August	15–20	226,5	134,0
Майсак / Maysak	2020	Август / August	40–43	140,1	134,0
Хайшен / Haishen	2020	Сентябрь / September	40–43	129,2	104,0
Хиннамнор (Генри) / Hinnamnor (Henry)	2022	Август / August	30–35	211,5	134,0
Ханун / Khanun	2023	Август / August	30–35	280,9	134,0
Лан / Lan	2023	Август / August	10–15	145,1	

Важнейшая стратегическая культура в регионе – соя. В 2024 г. валовое производство сои в России достигло рекордного сбора и составило более 7,0 млн тонн, в том числе в Дальневосточном федеральном округе – 1,8 млн тонн (или 26 % от общероссийского урожая). На Дальнем Востоке накоплен богатый многолетний научный и передовой опыт про-

изводства этой культуры, о чём свидетельствует высокая урожайность сои (более 3,0 т/га) в ряде хозяйств, где уделяют максимальное внимание производству. Дальнейшее производство сои будет расти за счет повышения урожайности. Первостепенная роль при этом отводится сорту и методам селекционной работы.

Значительные результаты в селекции сои достигнуты в ФНЦ ВНИИ сои (в последние годы получены новые сорта Сентябринка, Беринг, Олимп, Ляна, Лучистая) [6, 7], ДВНИИСХ – обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН (Хабаровский юбиляр, Хехцирская, Тасия, Батя) [8, 9, 10], ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки (Бриз, Намуль, Сфера) [11, 12, 13]. Потенциал урожайности сортов сои с комплексной устойчивостью к основным болезням достигает 4-5 т/га, содержание белка 41-42 %.

Среди новых районированных сортов заслуживает внимание сорт Сентябринка (ФНЦ ВНИИ сои). По данным ФГБУ «Россельхозцентр», в 2024 г. данный сорт вошел в группу лидеров по стране (топ 10 лучших сортов) с объемом высева семян – 13,6 тыс. тонн. Сорт Сентябринка скороспелый (вызревает при сумме активных температур 1600–2600 °С), урожайность – 2,6 т/га, содержание белка в семенах 39–42 %, жира – 17–19 % [7]. Сорт сои Беринг (ФНЦ ВНИИ сои) создан в рамках ФНТП на 2017–2030 гг. (заказчик – ООО «Спорос»). Сорт среднеспелый, урожайность 3,7 т/га, масса 1000 семян 198–218 г, содержание в семенах белка до 40,8 %, масла – 21,1 %.

В ДВНИИСХ – обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН выведен высокоурожайный среднеспелый сорт сои Хабаровский юбиляр, средняя урожайность – 3,2–3,8 т/га, потенциальная урожайность – 4,5–5,0 т/га, содержание белка – 39–41 %, масла – 17–19 %. Сорт устойчив к полеганию в период муссонов, избыточному увлажнению и растрескиванию бобов [8].

Сорт сои Бриз выведен селекционерами ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки, среднеспелый, средняя урожайность 2,6–3,5 т/га, потенциальная урожайность – 4,7 т/га, содержание в семенах белка – 39,6–42,9 %, масла – 18,4–21,4 % [13]. Все новые сорта сои конкурентоспособны и не уступают сортам сои зарубежной селекции, превосходят их по устойчивости к болезням, низким температурам в период всходов, стрессовым условиям муссонного климата Дальнего Востока. При создании нового исходного материала сои используются как классические, так и молекулярно-генетические методы [14]. Проводятся исследования в области иммунитета растений, фитопатологии и сельскохозяйственной энтомологии.

Другая приоритетная культура для Дальнего Востока – это кукуруза на зерно. Используя её на корм, можно увеличить выработку концентрированных кормов, обогащённых белком из сои. До 2005 г. кукурузу в регионе возделывали только на силос и зелёный корм [1]. Однако достижения современной селекции позволяют получать высокие урожаи зерна этой культуры. Проведённые экологические испытания показали, что в условиях Дальнего Востока кукуруза на зерно даёт 10–12 т/га [15]. Средняя урожайность зерна в раннеспелой группе составила 7,5 т/га, среднераннеспелой – 10,0 т/га, среднеспелой – 10,7 т/га. Некоторые гибриды отечественной и зарубежной селекции вполне пригодны для возделывания при уборочной влажности зерна 16–18 %. Естественно, площади посева и валовые сборы зерна стали быстро расти. За последние 15 лет посевная площадь кукурузы на зерно увеличилась в 10 раз и валовой сбор – в 6,3 раза, что указывает на одновременный рост урожайности. В 2024 г. площадь под этой культурой в Дальневосточном регионе составила 165 тыс. га, в том числе в Приморском крае – 107,7 тыс. га (или 65 % от общей региональной площади). Следует отметить рост производства кукурузы в последние годы в Амурской области до 47,8 тыс. га. Урожайность в среднем составляет 6,5 т/га, валовой сбор – около 600 тыс. тонн, проводится поставка на экспорт в страны Азиатско-Тихоокеанского региона (Южная Корея, Китай, Япония), в перспективе валовой сбор может быть увеличен до 1 млн тонн. Объёмом производства кукурузы и сои можно вполне обеспечить кормовую базу для возрождающегося животноводства Дальнего Востока, включая северные территории – Камчатский край, Сахалинскую и Магаданскую области.

Картофель – основная пищевая культура для населения региона. За счёт посадок картофеля в общественных, а также фермерских и личных подсобных хозяйствах, которые дают более 80 % продукции, потребности населения Дальнего Востока в этом продукте удовлетворяются полностью.

Селекционная работа по картофелю проводится почти во всех регионах Дальнего Востока. Получены новые сорта картофеля: Орион, Посейдон (ФНЦ агробиотехнологий

Дальнего Востока им. А. К. Чайки) [16, 17]; Зоя, Колымский (Магаданский НИИСХ – филиал ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова и ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха); Жемчужина Камчатки (Камчатский НИИСХ – филиал ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова) с высокими вкусовыми достоинствами.

Разработаны генетические паспорта 11 дальневосточных сортов картофеля с использованием восьми микросателлитных маркеров и 15 маркеров, ассоциированных с генами устойчивости к различным вредным организмам: ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки – Дачный (WIR-108751), Казачок (WIR-108752), Моряк (WIR-108753), Орион (WIR-108755), Посейдон (WIR-108756), Смак (WIR-108754); Камчатский НИИСХ – филиал ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова – Вулкан (WIR-108746), Гейзер (WIR-108747), Камчатка (WIR-108748), Северянин (WIR-108749), Солнышко (WIR-108750) [18]. Номенклатурные стандарты переданы на хранение в типовой фонд гербария ВИР (WIR).

В настоящее время наибольшее количество сортов картофеля создано в ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки, на базе которого в 2021 г. организован селекционно-семеноводческий центр, усовершенствована схема семеноводства этой культуры на безвирусной основе. Центр ежегодно производит 5000–9000 растений *in vitro*, 45–55 тыс. штук миниклубней, 20–30 т первого полевого поколения, 50–70 т супер-суперэлиты, что достаточно для обеспечения качественным семенным материалом Приморского края и других регионов Дальнего Востока [19, 20].

Важное значение для Дальнего Востока имеет развитие рисоводства. Опытные посевы риса в основной земледельческой зоне показали, что раннеспелые сорта этой культуры можно вполне выращивать в Приморском и Хабаровском краях, Еврейской области (при сумме активных температур 2300–2500 °С). Академик ВАСХНИЛ Б. А. Неунылов еще в 1950–1960 гг. обосновал возможность выращивания риса на площади 300–400 тыс. га, разработал методы обработки почвы, внесения удобрений и ухода за посевами, что позволило повысить урожайность данной культуры. В 2024 г. посевная площадь риса в крае составила 14,6 тыс. га, валовой сбор 47 тыс. тонн. Минсельхозом РФ поставлены задачи по увеличению производства риса до 2 млн тонн, при этом Приморский край, обладая достаточным количеством воды, может стать одним из важных центров увеличения производства, как минимум в 2-3 раза. Для расширения посевов требуются серьёзные инвестиции. Система рисоводства в крае является одной из старейших в стране, однако за последние годы её состояние сильно ухудшилось, необходима реконструкция рисовых оросительных систем.

Современные сорта риса (Алмаз, Кармелит) селекции ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки обладают потенциалом урожайности до 6,0 т/га, устойчивы к полеганию и осыпанию, а также имеют высокие технологические показатели качества крупы [21]. Однако из-за специфических погодных условий существует риск развития различных болезней. И одной из главных задач селекции является выведение сортов, устойчивых к основным болезням риса. С помощью культуры пыльников *in vitro* получен и оценен новый исходный материал для селекции риса, проведена идентификация генов устойчивости к пирикуляриозу в районированных сортах [22]. Научно-методические возможности позволяют объединить два метода для создания андрогенных линий удвоенных гаплоидов с пирамидой генов устойчивости к пирикуляриозу [23].

Важное значение придаётся увеличению производства другой крупяной культуры – гречихи. В России и за рубежом созданы специальные сорта гречихи с повышенным содержанием флавоноидов (рутина). В ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока создан новый сорт Уссурочка с использованием методов биотехнологии, с урожайностью более 2 т/га, повышенным содержанием рутина в плодах и надземной массе. Проводятся исследования в направлении изучения экспрессии генов, участвующих в синтезе рутина, с целью получения сортов с повышенным содержанием флавоноидов [24, 25].

В северных условиях использование в кормопроизводстве многолетних трав является самым перспективным направлением. Однако их удельный вес в структуре посевных площадей остаётся крайне низким (в зоне вечной мерзлоты составляет от 1 до 3 %). Между тем, особая привлекательность многолетних трав для Севера связана не только с возможностью создания кормовой базы, но и проведением мероприятий по почвозащите и биологической рекультивации деградированных природных и сеянных лугов, залежных земель, участков, нарушенных

в процессе добычи россыпных и рудных месторождений цветных металлов. Научными учреждениями этого региона выделены высокоурожайные сорта арктополевицы, тимофеевки, ежи сборной и др. трав, имеющие большое значение для кормопроизводства.

Возделывание многолетних трав в Дальневосточном регионе, где низкое природное плодородие почв, имеет чрезвычайно большое значение. Многолетние травы, в особенности бобовые, это не только источник кормов для животноводства, но и решение вопросов повышения плодородия почвы за счёт запашки органического вещества.

В области ветеринарной медицины исследования осуществляются в Дальневосточном зональном научно-исследовательском ветеринарном институте, проведен мониторинг лейкоза крупного рогатого скота, трихинеллёза в природной среде Дальневосточного федерального округа [3]. Перспективными направлениями исследований являются вопросы коррекции иммунитета, повышения естественной резистентности животных с применением эффективных и безопасных методов профилактики и терапии (иммунофармакология, фитотерапия, рефлексотерапия, применение сорбентов и других лекарственных средств) [26].

Результаты исследований научных учреждений Дальневосточных НИУ по животноводству определённым образом оказывают влияние на возрождающуюся отрасль – животноводство [3]. Наибольшие объёмы исследований по зоотехнии проводятся в Сахалинском НИИСХ – филиале ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова и ДВНИИСХ – обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН. Разработаны селекционно-генетические основы создания адаптированных стад крупного рогатого скота с высокими показателями молочной продуктивности и воспроизводства на основе новых родственных групп. Сформирована система питания для специализированных молочных и мясных пород с учетом физиологической потребности в питательных веществах с максимальным использованием биологически ценных кормовых ресурсов Дальнего Востока.

Актуальной является задача развития агротехнологий и технических средств для точного земледелия в зависимости от биогеохимических условий подзон региона с применением геопозиционирования и картографирования, а также адаптации существующих программных продуктов и разработки собственных для реперного слежения и автопилотирования агрегатов и машин.

В ДВНИИСХ – обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН разработан метод классификации сельскохозяйственных культур с использованием оптических и радиолокационных спутниковых данных. Рассчитаны значения радарного индекса с двойной поляризацией (DpRVI), а также радарных вегетационных индексов RVI, VH/VV при неблагоприятных погодных условиях. Определены характеристики сезонного хода для основных сельскохозяйственных культур и залежных земель Дальнего Востока [27, 28, 29].

К приоритетным направлениям развития сельскохозяйственной науки в Дальневосточном регионе относятся:

- использование молекулярной селекции для создания новых генотипов культурных растений с высокой продуктивностью и ценным качеством, устойчивых к экстремальным условиям муссонного климата;
- развитие производства и глубокой переработки сельскохозяйственных культур, создание качественных, в том числе функциональных продуктов питания;
- развитие агробиофотоники, особенно для районов Крайнего Севера с целью получения сельскохозяйственной продукции с высокими качественными показателями;
- генетическая паспортизация основных сельскохозяйственных культур;
- цифровизация и роботизация сельского хозяйства (спутниковое зондирование, навигация, прецизионное земледелие) с применением новых агротехнологий, защиты растений.

По ряду направлений научные учреждения сельскохозяйственного профиля проводят междисциплинарные исследования с ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Тихоокеанским институтом биоорганической химии им. Г. Б. Елякова ДВО РАН, Институтом химии ДВО РАН, Институтом автоматики и процессов управления ДВО РАН, ДВФУ и др. Продолжается активное сотрудничество с научными учреждениями азиатских стран (КНР, Южная Корея), Республикой Беларусь и другими.

В заключении следует отметить, что сельскохозяйственная наука вносит существенный вклад в научное обеспечение агропромышленного комплекса Дальнего Востока и нацелена на выполнение задач, поставленных в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации.

Список литературы

1. Чайка А. К. Приоритетные направления исследований в растениеводстве Дальнего Востока. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015;(3):6–7.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23609437 EDN: TWQUAR

2. Чайка А. К. Научное сопровождение программы социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона. Вестник российской академии сельскохозяйственных наук. 2014;(1):9–11.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21481759 EDN: SCCFMZ

3. Чайка А. К., Клыков А. Г. Приоритетные направления в развитии агропромышленного комплекса Дальнего Востока России. Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2016;(2):24–30.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26595228 EDN: WJZONV

4. Клыков А. Г., Ким И. В. Современное состояние и пути инновационного развития аграрной науки на Дальнем Востоке. Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2017;(3):5–14.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30450592 EDN: ZQJCOD

5. Ким И. В., Клыков А. Г. Биоресурсный потенциал картофеля на Дальнем Востоке: монография. Владивосток: Дальнаука, 2023. 334 с.

6. Синеговская В. Т., Фокина Е. М., Душко О. С. Использование физиологических методов в создании сортов сои. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024;(2):30–35. DOI: https://doi.org/10.31857/S2500208224020078 EDN: XHHRRA

7. Фокина Е. М., Беляева Г. Н., Титов С. А. Новые сорта сои для Дальневосточного региона. Дальневосточный аграрный вестник. 2020;(3):68–75. DOI: http://doi.org/10.22450/1999-6837-2020-3-68-75 EDN: GUITGP

8. Fedorova T. N., Aseeva T. A., Selezneva N. A. Photosynthetic activity of soybean crops in response to different sowing times under the environmental conditions of the Russian Far East. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;(723):022044. DOI: http://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022044

9. Шепель О. Л., Асеева Т. А., Кондратьева А. Ю., Хорняк М. П., Гайнудинова Н. А. Скрининг генетического разнообразия сои для селекции в экстремальных условиях Среднего Приамурья. Достижения науки и техники АПК. 2023;37(6):25–32. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_6_25 EDN: QTLPHN

10. Хорняк М. П., Шепель О. Л., Асеева Т. А., Кондратьева А. Ю. Результаты экологического испытания сои краснодарской селекции в условиях Среднего Приамурья. Агронаука. 2023;1(1):33–42.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50515963 EDN: UCFJYH

11. Лукьянчук Л. М., Бутовец Е. С. Реакция сортов сои на погодные условия Приморского края. Аграрная наука. 2023;(9):96–100. DOI: https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-96-100 EDN: CDNMPQ

12. Бутовец Е. С., Лукьянчук Л. М., Емельянов А. Н., Богдан П. М. Овощной сорт сои Намуль. Вестник КрасГАУ. 2024;(2(203)):81–88. DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-2-81-88 EDN: ERAHSZ

13. Бутовец Е. С., Лукьянчук Л. М., Васина Е. А. Дальневосточный сорт сои Бриз. Кормопроизводство. 2022;(6):34–37. DOI: https://doi.org/10.25685/krm.2022.2022.6.005 EDN: LDVLVQ

14. Лаврентьева С. И., Бондаренко О. Н., Блинова А. А., Пензин А. А., Тимкин П. Д., Иваченко Л. Е., Никульчев К. А., Асеева Т. А., Бутовец Е. С., Голохваст К. С. Оценка молекулярно-генетического полиморфизма сои Дальневосточного региона. Достижения науки и техники АПК. 2023;37(6):12–18.
DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_6_12 EDN: NEYMQU

15. Бутовец Е. С., Даниленко И. Н., Красковская Н. А. Оценка урожайности и качества различных по происхождению гибридов кукурузы в условиях Приморского края. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023;184(3):32–40. DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-3-32-40 EDN: NUIQWN

16. Ким И. В., Клыков А. Г., Волков Д. И. Продуктивность и адаптивные свойства сортообразцов картофеля различного происхождения на юге Дальнего Востока. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024;(5):26–33. DOI: https://doi.org/10.31857/S2500208224050061 EDN: ZTJIKP

17. Аникина О. В., Ким И. В. Создание и оценка новых генотипов картофеля с применением методов традиционной селекции. Дальневосточный аграрный вестник. 2024;18(1):5–15.
DOI: https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-1-5-15 EDN: UNTBKE

18. Рыбаков Д. А., Ким И. В., Иващенко А. Д., Шерстюкова Т. П., Антонова О. Ю., Гавриленко Т. А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Камчатского НИИСХ и ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки. Биотехнология и селекция растений. 2024;7(4):31–55.
DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2024-4-o3 EDN: TPTZZM

19. Волков Д. И., Гисюк А. А., Ким И. В., Морозова В. Н. Усовершенствование элементов технологии выращивания мини-клубней картофеля в защищенном грунте. Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2024;(4):80–87. DOI: https://doi.org/10.31857/S0869769824040055 EDN: IRBWHG

20. Шищенко Е. В., Ким И. В., Барсукова Е. Н., Ермак И. М., Кравченко А. О., Клыков А. Г. Эффективность применения природных и синтетических ингибиторов вирусов в оздоровлении картофеля (*Solanum tuberosum* L.). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(3):180–190.
DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-3-180-190 EDN: BTJAIW

21. Гученко С. С. Результаты создания перспективных сортов риса в условиях Приморского края. Аграрная Россия. 2024;(10):3–6. DOI: https://doi.org/10.30906/1999-5636-2024-10-3-6 EDN: LBJUOM

22. Илюшко М. В. Влияние условий выращивания растений доноров на андрогенетические ответы *in vitro Oryza sativa* L. Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю. А. Овчинникова. 2024;20(1):22–27.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68007261 EDN: WKPPZD

23. Илюшко М. В., Ромашова М. В., Гученко С. С. Оценка частоты внутрикаллусной изменчивости андрогенных удвоенных гаплоидов риса (*Oryza sativa* L.) по генам устойчивости к пирикуляриозу. Сельскохозяйственная биология. 2023;58(3):554–566. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.3.554rus EDN: WPPPXV

24. Боровая С. А., Клыков А. Г., Богинская Н. Г. Анализ генотипов гречихи, полученных на селективных средах с цинком *in vitro*, с помощью ISSR-маркеров. Генетика. 2024;60(3):110–112. DOI: https://doi.org/10.31857/S0016675824030126 EDN: DOBSZM

25. Borovaya S., Klykov A., Barsukova E., Chaikina E. Study of the effect of selective media with high doses of zinc on regeneration ability and rutin accumulation in common buckwheat *in vitro*. Plants. 2022;11(3):264. DOI: https://doi.org/10.3390/plants11030264

26. Кручинкина Т. В., Остякова М. Е. Минеральный обмен и его нарушения у крупного рогатого скота в Амурской области. Тенденции развития науки и образования. 2024;(114-7):84–87. DOI: https://doi.org/10.18411/trnio-10-2024-301 EDN: DRZFOS

27. Dubrovin K., Verkhoturov A., Stepanov A., Aseeva T. Multi-year cropland mapping based on remote sensing data: a case study for the Khabarovsk territory, Russia. Remote sensing. 2024;16(9):1633. DOI: https://doi.org/10.3390/rs16091633

28. Степанов А. С., Харитонова Г. В., Асеева Т. А., Верхотуров А. Л., Дубровин К. Н., Фролов А. Н. Исследование внутриполевых неоднородностей развития посевов сои по данным ДЗЗ и свойствам пахотного горизонта (на примере Юга Дальнего Востока). Российская сельскохозяйственная наука. 2024;(4):8–13. DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262724040021 EDN: FLOVUI

29. Dubrovin K., Stepanov A., Verkhoturov A. Cropland mapping using sentinel-1 data in the southern part of the Russian Far East. Sensors. 2023;23(18):7902. DOI: https://doi.org/10.3390/s23187902

References

1. Chaika A. K. Priority lines of examinations in plant industry of the far east. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2015;(3):6–7. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23609437

2. Chaika A. K. Scientific tracking the program for socioeconomic development of the Far East and Baikal region. *Vestnik rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2014;(1):9–11. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21481759

3. Chaika A. K., Klykov A. G. Priority directions in the development of agro-industrial complex in the far east of Russia. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* = Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences. 2016;(2):24–30. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26595228

4. Klykov A. G., Kim I. V. Modern state and ways of innovative development of agrarian science in the Far East. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* = Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences. 2017;(3):5–14. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30450592

5. Kim I. V., Klykov A. G. Bioresource potential of potatoes in the Far East: a monograph. Vladivostok: *Dal'nauka*, 2023. 334 p.

6. Sinegovskaya V. T., Fokina E. M., Dushko O. S. The usage of physiological methods in the creation of soybean varieties. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2024;(2):30–35. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S2500208224020078

7. Fokina E. M., Belyaeva G. N., Titov S. A. New soybean varieties for the Far East region. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2020;(3):68–75. (In Russ.). DOI: http://doi.org/10.22450/1999-6837-2020-3-68-75

8. Fedorova T. N., Aseeva T. A., Selezneva N. A. Photosynthetic activity of soybean crops in response to different sowing times under the environmental conditions of the Russian Far East. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;(723):022044. DOI: http://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022044

9. Shepel' O. L., Aseeva T. A., Kondrat'eva A. Yu., Khornyak M. P., Gaynudinova N. A. Screening of soybean genetic diversity for breeding under extreme conditions of the Middle Amur region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2023;37(6):25–32. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_6_25

10. Khornyak M. P., Shepel' O. L., Aseeva T. A., Kondrat'eva A. Yu. Results of ecological testing of soybeans of krasnodar breeding under extreme conditions of the Middle Amur region. *Agronauka*. 2023;1(1):33–42. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50515963

11. Lukyanchuk L. M., Butovets E. S. Response of soybean varieties to weather conditions in Primorsky Krai. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2023;(9):96–100. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-96-100

12. Butovets E. S., Lukyanchuk L. M., Emelyanov A. N., Bogdan P. M. Vegetable soybean variety Namul. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2024;(2(203)):81–88. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-2-81-88

13. Butovets E. S., Lukyanchuk L. M., Vasina E. A. Far-eastern soybean variety briz. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2022;(6):34–37. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25685/krm.2022.2022.6.005

14. Lavrent'eva S. I., Bondarenko O. N., Blinova A. A., Penzin A. A., Timkin P. D., Ivachenko L. E., Nikul'chev K. A., Aseeva T. A., Butovets E. S., Golokhvast K. S. Evaluation of molecular genetic polymorphism of soybean in the Far East region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2023;37(6):12–18. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_6_12

15. Butovets E. S., Danilenko I. N., Kraskovskaya N. A. Evaluation of grain yield and quality in maize hybrids of various origin under the conditions of Primorsky territory. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2023;184(3):32–40. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-3-32-40

16. Kim I. V., Klykov A. G., Volkov D. I. Productivity and adaptive properties of different origin potato varieties in the Russia's far East South. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2024;(5):26–33. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S2500208224050061

17. Anikina O. V., Kim I. V. Creating and evaluating new potato genotypes using traditional breeding methods. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2024;18(1):5–15. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-1-5-15

18. Rybakov D. A., Kim I. V., Ivashchenko A. D., Sherstyukova T. P., Antonova O. Yu., Gavrilenko T. A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred by the Kamchatka Research Institute of Agriculture and the Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika. *Biotekhnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2024;7(4):31–55. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2024-4-o3

19. Volkov D. I., Gisyuk A. A., Kim I. V., Morozova V. N. Improving the elements of the technology for growing potato minitubers in a greenhouse. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* = Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences. 2024;(4):80–87. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0869769824040055

20. Shishchenko E. V., Kim I. V., Barsukova E. N., Yermak I. M., Kravchenko A. O., Klykov A. G. Efficacy of natural and synthetic inhibitors in the elimination of viruses in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2024;185(3):180-190. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-3-180-190

21. Guchenko S. S. Results of the breeding of rice varieties under the conditions of Primorsky kray. *Agrarnaya Rossiya* = Agrarian Russia. 2024;(10):3–6. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30906/1999-5636-2024-10-3-6

22. Ilyushko M. V. The influence of donor plants growing conditions on androgenetic responses *in vitro of Oryza sativa* L. *Vestnik biotekhnologii i fiziko-khimicheskoy biologii im. Yu. A. Ovchinnikova*. 2024;20(1):22–27. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68007261

23. Ilyushko M. V., Romashova M. V., Guchenko S. S. Intra-callus variability for rice blast resistance genes in *Oryza sativa* L. indicated by genetic analysis of androgenic doubled haploids. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2023;58(3):554–566. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.3.554rus

24. Borovaya S. A., Klykov A. G., Boginskaya N. G. Analyzing buckwheat genotypes obtained on selective media with zinc *in vitro* using ISSR markers. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2024;60(3):110–112. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0016675824030126

25. Borovaya S., Klykov A., Barsukova E., Chaikina E. Study of the effect of selective media with high doses of zinc on regeneration ability and rutin accumulation in common buckwheat *in vitro*. Plants. 2022;11(3):264.
DOI: https://doi.org/10.3390/plants11030264

26. Kruchinkina T. V., Ostyakova M. E. Mineral metabolism and its disorders in cattle in the Amur region. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2024;(114-7):84–87. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18411/trnio-10-2024-301

27. Dubrovin K., Verkhoturov A., Stepanov A., Aseeva T. Multi-year cropland mapping based on remote sensing data: a case study for the Khabarovsk territory, Russia. Remote sensing. 2024;16(9):1633. DOI: https://doi.org/10.3390/rs16091633

28. Stepanov A. S., Kharitonova G. V., Aseeva T. A., Verkhoturov A. L., Dubrovin K. N., Frolov A. N. Investigation of in-field heterogeneities in the development of soybean according to remote sensing data and properties of the plow horizon (on the example of the South of the Far East). *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2024;(4):8–13. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262724040021

29. Dubrovin K., Stepanov A., Verkhoturov A. Cropland mapping using sentinel-1 data in the southern part of the Russian Far East. Sensors. 2023;23(18):7902. DOI: https://doi.org/10.3390/s23187902

Сведения об авторе

✉ **Клыков Алексей Григорьевич,** академик РАН, заведующий отделом селекции и биотехнологии сельскохозяйственных культур, ФГБНУ «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», д.30, ул. Воложенина, п. Тимирязевский, г. Уссурийск, Российская Федерация, 692539, e-mail: fe.smc_rf@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2390-3486,** e-mail: alex.klykov@mail.ru

Information about the author

✉ **Aleksei G. Klykov**, Academician of the Russian Academy of Sciences, 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. Chaiki», 30 Volozhenina St., Timiryazevsky settlement, Ussuriysk, Russian Federation, 692539,
e-mail: fe.smc_rf@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2390-3486,** e-mail: alex.klykov@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

ОБЗОРЫ/REVIEWS

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.470–498
УДК 631.452:631.427: 631.423

Классические и современные подходы к изучению органического вещества дерново-подзолистых почв Среднего Предуралья (аналитический обзор)

© 2025. Н. Е. Завьялова ✉ , В. Р. Ямалтдинова, Д. Г. Шишков, С. С. Скрябина, И. В. Казакова

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация

Представлены экспериментальные данные ученых Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН, полученные за 2000–2024 гг., обобщена и проанализирована научная литература за 1990–2024 гг. российских и иностранных специалистов по изучению почвенного органического вещества (ПОВ). Выявлены разнонаправленные тенденции изменения органического углерода в почве по сравнению с исходным уровнем при смене режима землепользования: уменьшение при интенсивной обработке почвы и отсутствии удобрений, сохранение и увеличение – при поступлении большого количества органического вещества с биомассой возделываемых культур в севообороте и органическими удобрениями. Показано влияние приемов землепользования на содержание различных фракций трансформируемого органического вещества. Установлено, что в почвенно-климатических условиях Среднего Предуралья потери органического углерода в процессе минерализации за вегетационный период потенциально могут составить от 2,37 до 3,21 % от его общего содержания. Определен высокий углеродсеквестрирующий потенциал дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы. Проведена оценка секвестрации углерода культурами севооборота и многолетними травами. Выявлено, что в процессе фотосинтеза козлятник восточный преобразует из атмосферы в биомассу растений более 30 т/га CO_2, или 8,4 т С/га в год, левзея сафлоровидная – 24,3–41,3 т/га CO_2 (6,8–11,5 т/га). За счет большого количества и благоприятного биохимического состава пожнивно-корневых остатков многолетних кормовых культур наблюдается накопление и депонирование органического углерода в почве. Исследование почвенного микробиома дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв Среднего Предуралья выявили 17 филумов, состоящих из доменов Archaea (1 филум) и Bacteria (16 филумов). Обнаружены различия в составе почвенных микроорганизмов в почвах при различном землепользовании. Обозначены перспективы дальнейшего изучения ПОВ в связи с проблемой глобального изменения климата и развитием инструментальных высокоточных методов анализа.

Ключевые слова: *приемы землепользования, удобрения, структура почвенного органического вещества, экофизиологические показатели, секвестрация углерода, анализ почвенного микробиома, обзор научной литературы*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (тема АААА-А18-118021990053-3).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Завьялова Н. Е., Ямалтдинова В. Р., Шишков Д. Г., Скрябина С. С., Казакова И. В. Классические и современные подходы к изучению органического вещества дерново-подзолистых почв Среднего Предуралья (аналитический обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):470–498.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.470-498

Поступила: 14.05.2025 Принята к публикации: 16.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Classical and modern approaches to the study of organic matter of sod-podzolic soils in the Middle Pre-Urals (analytical review)

© 2025. Nina E. Zavyalova✉, Venera R. Yamaltdinova, Danil G. Shishkov, Sofia S. Scryabina, Inna V. Kazakova

Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Region, Russian Federation

Experimental data of scientists of Perm Agricultural Research Institute – branch of PFRC UB RAS obtained for 2000–2024 are presented, scientific literature for 1990–2024 of Russian and foreign specialists on the study of soil organic matter (SOM) is summarized and analyzed. Multidirectional tendencies of organic carbon change in soil compared to the initial level at change of land use regime were revealed: decrease at intensive tillage and absence of fertilizers, preservation and increase – at input of large amount of organic matter with biomass of cultivated crops in crop rotation and organic fertilizers. The influence of land use practices on the content of different fractions of transformed organic matter is shown. It has been established that in soil-climatic conditions of the Middle Urals the losses of organic carbon in the process of mineralization during the vegetation period can potentially make from 2.37 to 3.21 % of its total content. High carbon sequestering potential of sod-podzolic heavy loamy soil was determined. Carbon sequestration by crops of crop rotation and perennial grasses was assessed. It was revealed that in the process of photosynthesis eastern galega converts from atmosphere to plant biomass more than 30 t/ha of CO2 or 8.4 t C/ha per year, safflower leuzea – 24.3–41.3 t/ha of CO2 (6.8–11.5 t/ha). Due to the large amount and favourable biochemical composition of crop-root residues of perennial fodder crops, accumulation and deposition of organic carbon in the soil is observed. The study of soil microbiome of sod-podzolic heavy loamy soils of the Middle Urals revealed 17 phylums consisting of Archaea (1 phylum) and Bacteria (16 phylums) domains. Differences in the composition of soil microorganisms in soils of different types of land use were found. Prospects for further study of SOM are outlined in connection with the problem of global climate change, as well as the development of instrumental high-precision methods of analysis.

Keywords: *land use practices, fertilizers, soil organic matter structure, ecophysiological indicators, carbon sequestration, soil microbiome analysis*, *scientific literature review*

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 Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. AAAA-A18-118021990053-3).

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: Zavyalova N. E., Yamaltdinova V. R., Shishkov D. G., Scryabina S. S., Kazakova I. V. Classical and modern approaches to the study of organic matter of sod-podzolic soils in the Middle Pre-Urals (analytical review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):470–498. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.470-498

Received: 14.05.2025 Accepted for publication: 16.06.2025 Published online: 30.06.2025

Органическое вещество (ОВ) рассматривается как классификационный признак почвы и ключевой показатель ее качества и «здоровья» [1, 2, 3]. Способность почвы создавать необходимые условия для развития сельскохозяйственных культур и формирования высоких урожаев неразрывно связана с запасами ОВ в ней. Изучение антропогенной трансформации органического вещества – необходимое условие для выявления причин низкого плодородия почвы, определения направлений использования и охраны земельных ресурсов. Важнейшая роль природных экосистем – регуляция цикла углерода, который определяет устойчивость функционирования агроценозов в условиях длительного интенсивного сельскохозяйственного использования пашни и обеспечивает её экологические функции [4].

Почвенное органическое вещество (ПОВ) принято подразделять на разные фракции и пулы, которые получают из почвы химическим, биологическим и физическим фракционированием [1, 5, 6]. Роль трансформируемых (активных) и инертных (стабильных) пулов в почвенном плодородии неодинакова [7, 8, 9]. Трансформируемая часть ОВ ($С_{транс}$) служит наиболее доступным источником питания растений, определяет биологическую активность и агрохимические свойства почв и заметно изменяется под влиянием различных агротехнических приемов. Трансформируемая часть ОВ участвует в круговороте углерода и других элементов, формирует основные функции органического вещества и определяет эффективное плодородие почвы. В состав трансформируемого органического вещества, извлекаемого из почвы растворителями различной жесткости (вода, растворы солей, щелочей и др.), входят подвижные формы углерода, содержание которых в почве влияет на урожай возделываемой культуры. Содержание подвижного (лабильного) органического вещества (ЛОВ, $С_{лаб}$) в почве зависит от различных природных и антропогенных факторов [10, 11]. Очевидно, что для каждого региона и типа почвы концен-

трация лабильного органического вещества будет неодинаковой.

В качестве одного из индикаторов обеспеченности почв трансформируемым органическим веществом используют содержание в почве потенциально минерализуемого углерода ($С_{пм}$) [12]. Этот показатель отражает количество углерода, минерализуемого в конкретной агроэкосистеме за период времени, равный по продолжительности вегетационному сезону.

Исходя из того, что почвенная суспензия представляет собой гетерогенную систему, предложен способ физического фракционирования суспензии и выделения фракции дисперсного органического вещества (particulate organic matter, POM), которая чувствительна к изменениям агротехники, хорошо отражает изменения качества почвенного органического вещества, вызванные сменой систем землепользования [13, 14].

Инертный углерод является своеобразным «органическим скелетом» почвы [15]. По определению М. Кёршенса [16], эта часть углерода термодинамически и биологически наиболее устойчива и отражает генетические особенности почв. При длительном экстенсивном использовании почвы активная часть ОВ может пополняться за счет инертной, что вызывает деградацию почв. Пул так называемого инертного гумуса отождествляется с величиной минимального содержания гумуса в почве при бессменном длительном (более 20 лет) паровании почвы.

В начале 2000-х годов активно начали обсуждать проблему парникового эффекта атмосферы Земли, появился новый термин – «почвенная секвестрация углерода», что предало изучению органического вещества новый импульс [17, 18, 19]. Основными резервуарами-накопителями углерода являются наземная растительная биомасса и почвенное органическое вещество. Примерно 40 % территории суши покрыто травянистыми растениями – их роль в секвестрации углерода чрезвычайно велика, в них содержится до 30 % глобальных запасов почвенного углерода. Уровень секвестрации углерода существенно зависит от фотосинтетической способности трав. По данным В. Г. Сычева с соавторами [20], объемы секвестрации естественным травостоем варьируют в пределах 2,2–2,5 т/га в год, в культурных агроценозах – 5,25 т/га углерода. На почвы России приходится 12 % площади почвенного покрова мира, из них 87 % – естественные природные системы, которые находятся в стационарном состоянии. Потери органического вещества в наших почвах значительно ниже, чем в других странах, что связано с использованием ресурсосберегающих технологий, ограниченным применением минеральных удобрений, природно-климатическими условиями России.

В Пермском НИИСХ (филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук) для исследования органического вещества дерново-подзолистых почв были использованы современные агрохимические, микробиологические и физико-химические методы, позволяющие выявить различия на уровне элементного состава и структуры молекул гуминовых кислот, показать участие отдельных групп микроорганизмов в процессе трансформации ОВ.

Цель аналитического обзора – обобщить и проанализировать результаты комплексных исследований по изучению органического вещества пахотных и целинных дерново-подзолистых почв Среднего Предуралья для оценки трансформации ОВ при сельскохозяйственном использовании; определить приоритеты дальнейших исследований.

Материал и методы. Объектом исследования служила дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва (Eutric Albic Retisols (Abruptic, Loamic, Cutanic)) естественных экосистем (под смешанным лесом, злаково-разнотравным лугом); почва агроэкосистем под культурами севооборота в вариантах длительных стационарных опытов, под многолетней бобовой культурой – козлятником восточным (*Galéga orientalis*), под многолетней культурой семейства астровых – левзеей сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides*).

Обобщены и проанализированы результаты исследований ученых Пермского НИИСХ по изучению органического вещества почвы, выполненные с 2000 по 2024 год. Классические и современные подходы к изучению ОВ отражены в 60 научных публикациях отечественных и зарубежных ученых за период 1990–2024 гг. Поиск тематических научных статей выполнен через научную электронную библиотеку и поисковые системы: eLIBRARY.RU, Scopus, Web of Science, РИНЦ, RSCI с выделением наиболее цитируемых и отражающих тематику аналитического обзора публикаций.

Основная часть. *Органическое вещество дерново-подзолистых почв при различных приемах землепользования.* Исследуемая почва является дерново-подзолистой тяжелосуглинистой, содержание физической глины варьирует от 40,2 до 43,7 % [21]. В естественных фитоценозах процессы синтеза и разложения органического вещества почвы уравновешены. Условия почвообразования под смешанным лесом способствовали накоплению гумуса в слое 3–20 см до 5,95 %, общего азота – до 2941 мг/кг. Кислотность почвенного раствора под лесной растительностью сформировалась на уровне pH_{KCl} 4,3, гидролитическая кислотность – 6,4 ммоль/100 г. Почва под злаково-разнотравным лугом имеет низкое содержание гумуса по классификации Тюрина, характеризуется среднекислой реакцией среды – pH_{KCl} 4,7, высоким содержанием подвижного фосфора по Кирсанову – 257 мг/кг почвы, обменного калия – 252 мг/кг, емкость катионного обмена (ЕКО) до 25,2 ммоль/100 г (табл. 1). Пахотная почва различных вариантов длительного стационарного опыта имеет слабокислую реакцию среды, высокое содержание подвижного фосфора и калия по Кирсанову, низкое содержание гумуса и общего азота. Почва типичного севооборота с двумя полями клевера и внесением навоза КРС в паровое поле по 40 т/га содержала на период обследования (2022 г.) гумуса в 1,3 раза больше, чем при закладке опыта (1977 г.). В варианте бессменного чистого пара без удобрений отмечено снижение гумуса на 29,1 %, в варианте бессменного ячменя – на 6,1 % относительно исходного уровня.

Плотность сложения почвы (*d*) зависела от типа землепользования. Максимальное значение плотности характерно для почвы бессменного чистого пара – 1,26 г/см^3. На участках залежи и лесной почвы плотность верхних горизонтов была ниже, чем в пахотных вариантах – 1,20 и 0,9 г/см^3 соответственно.

Основным источником накопления органических веществ в обрабатываемой почве является культура полевых растений, их корневые и пожнивные остатки. Оценить роль растений в формировании и обновлении почвенного органического вещества в условиях многолетнего стационарного опыта позволяет бессменный чистый пар, являясь уникальным вариантом. Установлено, что продолжительное парование, интенсивная обработка и отсутствие поступления растительных остатков истощает почву (рис. 1). В этих условиях установился минимальный для пахотных дерново-подзолистых почв данной территории уровень $C_{орг}$, равный 0,78 %. За 40 лет наблюдений в бессменно парующей почве в слое 0–20 см запасы органического углерода уменьшились на 8,3 т/га.

Возделывание бессменного ячменя без удобрений при одностороннем выносе питательных веществ и незначительном поступлении пожнивно-корневых растительных остатков в почву замедлило темпы минерализации органического вещества, изменило соотношение между выносом и поступлением этих элементов в системе «почва – растение». В настоящее время содержание органического углерода в почве под бессменным ячменем составляет 1,04 %, запасы углерода в слое 0–20 см – 25,6 т/га (табл. 2).

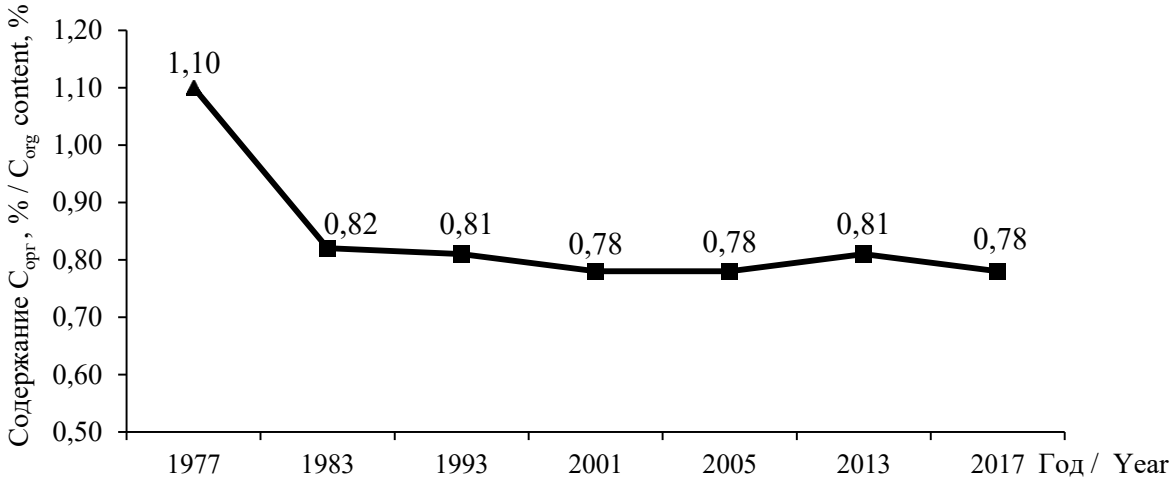


Рис. 1. **Динамика содержания органического углерода в дерново-подзолистой почве (бессменный чистый пар, 1977–2017 гг.) /**

Fig. 1. **Dynamics of organic carbon content in sod-podzolic soil (continuous «black» fallow, 1977–2017)**

Таблица 1 – **Агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы при различном землепользовании (2022 г.) /**
Table 1 – **Agrochemical parameters of sod-podzolic soil under various types of land use (2022)**

Объект исследования / Object of the research	*Слой почвы, см / Soil layer,cm*	*pH_{KCl}*	*S*	*Hг*	*ЕКО*	*P_2O_5*	*K_2O*	*Гумус, % / Humus, %*	*C : N*	*d, г/см³ / g/cm³*	*Содержание частиц <0,01 мм, % / Particle content <0.01 mm, %*
			ммоль/100 г / mmol/100 g			*мг/кг / mg/kg*					
Бессменный чистый пар / Continuous «black» fallow	0–20	4,9	20,5	2,62	23,12	445	220	1,34	8,6	1,26	43,0
Бессменный ячмень / Continuous barley	0–20	5,0	22,5	2,55	25,06	266	270	1,79	9,3	1,23	42,6
Типичный севооборот с унавоженным паром / Typical crop rotation with manured «black» fallow	0–20	5,2	21,8	2,13	26,58	323	296	2,45	10,0	1,24	42,9
Злаково-разнотравный луг / Grass-forb meadow	0–20	4,7	17,1	3,10	25,20	257	252	2,54	10,1	1,20	40,2
Смешанный лес / Mixed forest	3–20	4,3	18,3	6,40	22,20	162	216	5,95	11,9	0,90	43,7
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	-	0,15	0,34	0,09	0,84	5,30	7,57	0,07	-	0,05	-

Таблица 2 – **Содержание и запасы форм углерода при различном землепользовании (2022 г.) /**
Table 2 – **The content and reserves of various forms of carbon under different land uses (2022)**

Вариант / Variant	*Содержание / Content*					*Запасы / Reserve*					
	$C_{орг}$ / C_{org}	*$C_{транс}$ / C_{trans}*	*$C_{лаб}$ / C_{lab}*	*$C_{пм}$ / C_{pm}*	*$C_{эгв}$ / C_{hwe}*	*$C_{орг}$ / C_{org}*	*$C_{транс}$ / C_{trans}*	*$C_{лаб}$ / C_{lab}*	*$C_{пм}$ / C_{pm}*	*$C_{эгв}$ / C_{hwe}*	*$C_{орг}$ / $C_{лаб}$ / C_{org} / C_{lab}*
	%			*мг/кг / mg/kg*		*т/га / t/ha*			*кг/га / kg/ha*		
Бессменный чистый пар / Continuous «black» fallow	0,78	0	0,13	185,8	110	19,7	0	3,3	46,82	27,7	6,0
Бессменный ячмень / Continuous barley	1,04	0,26	**0,22**	209,8	211	25,6	6,4	4,7	51,61	51,8	4,7
Типичный севооборот с унавоженным паром / Typical crop rotation with manured «black» fallow	1,42	0,64	**0,24**	312,4	201	35,2	15,9	5,8	77,48	49,9	5,8
Злаково-разнотравный луг / Grass-forb meadow	1,62	0,84	**0,31**	516,2	359	38,9	20,2	7,4	123,89	86,2	5,3
Смешанный лес / Mixed forest	3,45	2,67	**0,87**	-	1492	52,8	40,9	13,3	-	228,3	4,0
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,09	-	0,03	19,1	35,8	-	-	-	-	-	-

Ведение типичного для зоны Среднего Предуралья севооборота с унавоженным паром и двумя полями клевера лугового позволило при совокупном взаимодействии биоресурсов возделываемых бобовых и зерновых культур повысить содержание органического углерода в дерново-подзолистой почве до 1,42 %, т. е. на 28,9 % относительно исходного. Запасы $C_{орг}$ в пахотном (0–20 см) слое составили 35,2 т/га, это ниже, чем в залежной почве на 3,7 т/га. В среднем за ротацию в данном севообороте, без внесения минеральных удобрений, в почву поступает около 28 т/га органического вещества в виде навоза, корневых и пожнивных растительных остатков.

За 45 лет нахождения почвы в залежном состоянии в ней установилось максимальное по [22] для естественных условий почвообразования содержание органического углерода – 1,62 %, что соответствует целинной почве региона исследований. Развитая растительность и обильная корневая система обеспечивают поступление большой массы органических остатков в почву залежи.

Максимальными запасами валового органического углерода в слое 3–20 см характеризуется почва под смешанным лесом, которые составляют 52,8 т/га. Величина отношения C:N равна 11,7, почва достаточно хорошо обогащена азотом, однако гумификация поступающего в почву леса свежего органического вещества в виде древесного опада и травянистой растительности протекает медленно ввиду их сложного химического состава. Содержание органического углерода стабилизировалось на уровне 3,45 %, процессы гумусообразования и минерализации органического вещества уравновешены.

Влияние приемов землепользования на трансформацию органического вещества почвы наиболее эффективно можно оценить по содержанию в ней различных пулов органического углерода [23]. Активная фракция почвенного органического вещества является значимой количественной характеристикой почвы и определяет направление и интенсивность многих биохимических процессов. Именно активное (трансформируемое) ОВ служит источником питания и энергии для растений и почвенных микроорганизмов. Общее содержание органического углерода в почве, выраженное через углерод, можно представить формулой: $C_{общ} = C_{min} + C_{trans}$ [7], где C_{min} – уровень содержания углерода, который устанавливается при длительном экстенсивном (бессменный пар) использовании почвы. Впервые такой подход к оценке органического вещества по наличию в нем устойчивых (неподдающихся минерализации) и трансформируемых (активных) компонентов использовал профессор М. Кёршенс [16]. Фракция трансформируемого углерода в длительном стационарном опыте, представленная компонентами с высокой химической и биологической активностью, в зависимости от приемов землепользования, составила от 0 до 2,67 % от массы почвы. Однако расчетный метод не дает точных результатов по определению трансформируемого ОВ. В длительно парующей почве нельзя считать $C_{транс}$ равным нулю, так как в ней постоянно идут процессы минерализации и гумусообразования за счет поступления малого количества сорной растительности, изменения гидротермических условий, попадания инородных частиц пыли и т. д.

Более информативным показателем обеспеченности почв активным органическим веществом является содержание потенциально-минерализуемого органического вещества. Количественное значение потенциально минерализуемого углерода определяли путем измерения количества CO_2 за 20-суточный период лабораторной инкубации почвы (при 60 % ППВ и температуре 22 °C) и расчета по уравнениям, изложенным в работе Б. М. Когута и др. [6]. Согласно полученным данным, количество $C_{пм}$ в почве бессменного чистого пара составило 185,8 мг/кг (2,37 % от общего углерода), что меньше, чем в почве севооборота в 1,7 раза. В почве залежи сформировалось более высокое содержание потенциально минерализуемого углерода, его доля составила 3,21 % от общего углерода почвы. Таким образом, за вегетационный период в условиях, приближенных к лабораторному эксперименту по инкубированию, почва потенциально может потерять от 46,82 до 123,89 кг/га углерода в процессе минерализации органического вещества в зависимости от приемов землепользования.

Наиболее доступным для растений является органический углерод, экстрагируемый горячей водой ($C_{эгв}$) [24], в которую извлекаются подвижные гумусовые вещества с высокой обогащенностью азотом (C:N = 7,7–10,0). Кислая реакция почвенного раствора и большое

количество органического вещества кислой природы, поступающего в почву леса, оказали значимое влияние на $C_{эгв}$ – 1492 мг/кг. Минимальным содержанием углерода в водной вытяжке характеризуется почва бессменного чистого пара – 110 мг/кг, запасы водорастворимой фракции органического вещества составляют 27,7 кг/га, что в 8 раз меньше, чем в почве под смешанным лесом. Возделывание сельскохозяйственных культур практически в 2 раза повысило содержание легкодоступного для растений и микроорганизмов водорастворимого углерода относительно почвы, длительное время находящейся под паром. В почве залежи, где отсутствует механическая обработка и фитомасса не отчуждается, установилось динамическое равновесие между процессами минерализации и гумусообразования, содержание $C_{эгв}$ составило 359 мг/кг почвы.

Для дерново-подзолистых почв широко используется метод определения лабильного (активного) органического углерода в 0,1 М нейтральной пирофосфатной вытяжке ($C_{лаб}$), в которую переходят наиболее «молодые» гумусовые вещества, не прочносвязанные с минеральной частью почвы. Эта фракция реагирует на внешние воздействия, расходуется и восстанавливается при различном агротехническом воздействии на почву [8]. Наши исследования показали, что в зависимости от типа землепользования, в нейтральный 0,1 М раствор пирофосфата натрия перешло от 0,13 до 0,87 % органического углерода. В пахотной почве бессменного пара органический углерод представлен в основном инертным органическим веществом, составляющим почвенный каркас [6, 15], содержание лабильной части углерода минимально – 0,13 % от массы почвы.

Поступление растительных остатков в почву после уборки бессменно возделываемого ячменя, а также нахождение почвы под покровом культуры, способствовало увеличению $C_{лаб}$ до 0,22 %. Использование навоза и поступление в почву растительных остатков различного количества и качества в типичном севообороте не изменило существенно содержание лабильной части органического вещества почвы относительно бессменно возделываемой культуры, что, по-видимому, связано с высоким выносом элементов питания при возделывании сельскохозяйственных культур.

Залежная почва занимает промежуточное положение между почвой под лесом и пахотными почвами по содержанию углерода в водной и пирофосфатной вытяжках.

Запасы органического углерода, извлекаемого нейтральным раствором пирофосфата натрия, составляют основу активной части органического вещества почвы и являются существенным резервом питательных веществ, их количество варьирует в зависимости от приемов землепользования от 3,3 до 13,3 т/га.

Органическое вещество дерново-подзолистой почвы при длительном применении различных систем удобрения. Для дерново-подзолистых почв с низким природным уровнем плодородия внесение органических удобрений является основой воспроизводства плодородия почв и повышения продуктивности агроценозов. Многолетняя динамика $C_{орг}$ при применении различных систем удобрения в длительном стационарном опыте представлена на рисунке 2. Начальной точкой явилось исходное содержание $C_{орг}$ 1,25 %. Насыщение пашни навозом по 10 т/га обеспечило не только сохранение исходного уровня содержания органического углерода в течение шести ротаций севооборота, но и несколько повысило его. Уровень $C_{орг}$ составил в этом варианте 1,33 %, что на 6 отн. % выше, чем в исходной почве. Совместное внесение 10 т/га навоза и эквивалентного количества NPK способствовало увеличению $C_{орг}$ до 1,38 %. Тренды динамики $C_{орг}$ показывают, что к концу третьей ротации уровень $C_{орг}$ в почве приблизился к равновесному, и далее его количество слабо изменялось. При этом уровни содержания $C_{орг}$ установились различными в зависимости от применяемых систем удобрения: минимальный – в контроле без удобрений (1,15 %); максимальный – при насыщении пашни навозом по 10 т и внесении эквивалентного количества NPK под зерновые культуры (1,38 %).

Для каждого типа почв характерен свой органопрофиль, который сохраняется в постоянных условиях гумификации органического субстрата. Распределение органического вещества по профилю исследуемой почвы резко убывающее. Максимальными запасами органического углерода обладала почва в вариантах: навоз 20 т/га в год и навоз 20 т/га + NPK, экв. 20 т/га навоза, где запасы ОВ в слое 0–20 см составили 36,7 и 39,8 т/га соответственно. Окультуривание почвы способствовало некоторому накоплению органического вещества в нижележащих горизонтах (табл. 3).

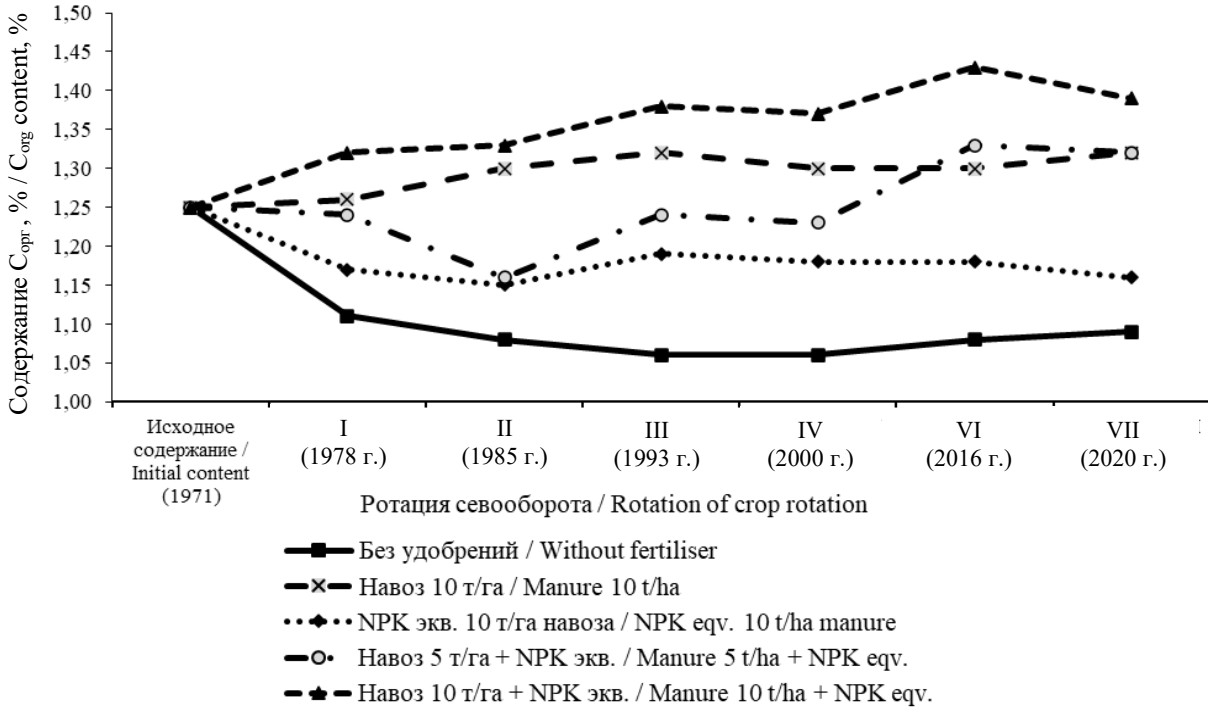


Рис. 2. **Динамика органического углерода при длительном применении различных систем удобрения /**
Fig. 2. **Organic carbon dynamics at long-term application of various fertilizer systems**

Таблица 3 – **Изменение содержания $C_{орг}$ по профилю почвы при длительном применении органической, минеральной и органоминеральной системы удобрения (VI ротация севооборота) /**
Table 3 – **Change of C_{org} content by soil profile at long-term application of organic, mineral and organomineral fertilisation systems (VI rotation of crop rotation)**

Вариант / Variant	*Содержание, % / Content, %*					*Запасы, т/га / Reserve, t/ha*		
	0–20 см	*20–40 см*	*40–60 см*	*60–80 см*	*80–100 см*	*0–20 см*	*0–40 см*	*0–100 см*
Без удобрений / Without fertilizer	1,15	0,58	0,38	0,36	0,34	29,9	45,3	75,1
Навоз 10 т/га / Manure 10 t/ha	1,33	0,72	0,33	0,22	0,22	34,6	53,8	78,4
Навоз 20 т/га / Manure 20 t/ha	1,41	0,81	0,39	0,20	0,20	36,7	58,2	81,6
NPK экв. 10 т/га навоза / NPK eqv. 10 t/ha manure	1,26	0,59	0,41	0,20	0,16	32,8	48,5	72,9
NPK экв. 20 т/га навоза / NPK eqv. 20 t/ha manure	1,31	0,61	0,39	0,35	0,41	34,1	44,5	85,8
Навоз 5 т/га + NPK экв. / Manure 5 t/ha + NPK eqv.	1,30	0,83	0,43	0,21	0,09	33,8	55,9	77,6
Навоз 10 т/га + NPK экв. / Manure 10 t/ha + NPK eqv.	1,38	0,84	0,36	0,24	0,29	35,9	58,2	86,4
Навоз 20 т/га + NPK экв. / Manure 20 t/ha + NPK eqv.	1,53	1,00	0,69	0,40	0,36	39,8	66,4	111,0
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,15	0,12	0,21	$F_ф<F_т$	$F_ф<F_т$	4,8	7,6	10,8

Внесение удобрений привело к обогащению органического вещества активными (трансформируемыми) компонентами (табл. 4). Полученные расчетным методом значения $C_{транс}$ составляют от 0,31 до 0,61 % от массы почвы.

Доля потенциально минерализуемого органического углерода в составе общего представлена на уровне 1,56–2,38 %, она минимальна в варианте без удобрений и максимальна в варианте навоз 5 т/га + экв. NPK. Максимальное содержание всех активных фракций органического вещества определено в варианте навоз 10 т/га + NPK экв. навозу, которое в 1,8–2,4 раза выше, чем в контрольном варианте.

Таблица 4 – **Влияние системы удобрения на содержание активных фракций органического вещества дерново-подзолистой почвы (2019 г.) /**
Table 4 – **Influence of fertilization system on the content of active fractions of organic matter of sod-podzolic soil (2019)**

Вариант / Variant	$C_{общ}$ / C_{total}	$C_{транс}$ / C_{trans}	$C_{0,1нNaOH}$	$C_{лаб}$ / C_{lab}	$C_{пм}$ / C_{pm}	$C_{эгв}$ / C_{hwe}
	%				мг/кг/ mg/kg	
Без удобрений / Without fertilizer	1,09	0,31	0,23	0,11	170,4	60,0
Навоз 10 т/га / Manure 10 t/ha	1,32	0,54	0,34	0,22	289,6	70,0
NPK экв. 10 т/га навоза / NPK eqv. 10 t/ha manure	1,26	0,48	0,34	0,20	280,3	80,0
Навоз 5 т/га + NPK экв. / Manure 5 t/ha + NPK eqv.	1,30	0,52	0,35	0,21	314,5	90,0
Навоз 10 т/га + NPKэкв. / Manure 10 t/ha + NPK eqv	1,39	0,61	0,47	0,26	317,0	110,0
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,15	-	0,03	0,02	27,3	0,02

Органическое вещество дерново-подзолистой почвы при минеральной системе удобрения. Анализ имеющихся экспериментальных данных по содержанию $C_{орг}$ под культурами севооборота в опыте с минеральной системой удобрения позволил выявить динамику этого показателя в зависимости от дозы полного минерального удобрения (табл. 5). Интенсивное падение содержания органического углерода зафиксировано в контроле, убыль по годам варьировала в интервале 11–19 % от исходного. Темпы минерализации органического вещества замедлились при внесении минеральных удобрений в дозе 60 д. в./га.

Таблица 5 – **Влияние доз минеральных удобрений на динамику органического углерода дерново-подзолистой почвы под культурами V ротации севооборота, % [25] /**
Table 5 – Influence of mineral fertilizer doses on dynamics of organic carbon of sod-podzolic soil under crops of V rotation of crop rotation, % [25]

Вариант / Variant	*Озимая рожь / Winter rye*	*Картофель / Potato*	*Яровая пшеница / Spring wheat*	*Клевер 1 г. п. / Clover 1 u.y.*	*Клевер 2 г. п. / Clover 2 u.y.*	*Ячмень / Barley*	*Овес / Oats*
Без удобрений / Without fertilizer	1,03	1,08	1,00	1,09	1,00	1,04	1,04
$N_{30}P_{30}K_{30}$	1,10	1,07	0,96	1,10	1,05	1,06	1,06
$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,15	1,13	1,08	1,13	1,17	1,14	1,19
N_{90} $P_{90}K_{90}$	1,18	1,19	1,10	1,18	1,20	1,18	1,25
$N_{120}P_{120}K_{120}$	1,27	1,26	1,18	1,25	1,25	1,18	1,24
$N_{150}P_{150}K_{150}$	1,28	1,38	1,19	1,23	1,28	1,19	1,25
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,06	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,08

Существенного изменения по содержанию углерода в почве в пятой ротации севооборота не наблюдали, по-видимому, в почве изучаемых вариантов после длительного применения возрастающих доз NPK установились стационарные уровни разные по величине. Минимальный – в почве контрольного варианта, максимальный – в варианте NPK 150 кг д. в./га. Сохранение исходного содержания $C_{орг}$ в почве (1,19–1,28 %, $НСР_{05}$ = 0,06) наблюдали в вариантах с внесением минеральных удобрений под зерновые культуры севооборота в дозах NPK по 60-90-120-150 кг/га д. в. Очевидно небольшие тренды содержания $C_{орг}$ по годам обусловлены различным количеством пожнивно-корневых остатков, поступающих в почву, а также наличием аналитической ошибки, пространственной вариабельностью и сезонной составляющей.

Внесение в почву возрастающих доз полного минерального удобрения привело к увеличению подвижного углерода, извлекаемого из почвы 0,1 М раствором щелочи, с 0,21–0,28 в контрольном варианте до 0,28–0,43 % к массе почвы в варианте $N_{150}P_{150}K_{150}$ (табл. 6). Доля подвижного органического вещества к общему углероду почвы составляет 21–24 %, что характерно для дерново-подзолистых почв. На накопление подвижного органического углерода в исследуемой почве оказала влияние

величина актуальной кислотности, между значениями pH_{KCl} и концентрацией углерода в щелочной вытяжке установлена обратная зависимость – r = -0,87.

Таблица 6 – **Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на динамику содержания активных компонентов в составе органического вещества /**
Table 6 **– The effect of increasing doses of mineral fertilizers on the dynamics of the content of active components in the composition of organic matter**

Вариант / Variant	*$C_{эгв}$, мг/кг / C_{hwe}, mg/kg*				*$C_{0,1н\ NaOH}$, %*				*$C_{0,1M\ Na4P2O7}$, %*			
	2012 г.	*2013 г.*	*2014 г.*	*2018 г.*	*2012 г.*	*2013 г.*	*2014 г.*	*2018 г.*	*2012 г.*	*2013 г.*	*2014 г.*	*2018 г.*
Без удобрений / Without fertilizer	106	98	168	114	0,20	0,21	0,28	0,21	0,13	0,15	0,20	0,20
$N_{30}P_{30}K_{30}$	86	108	200	123	0,25	0,16	0,26	0,16	0,15	0,14	0,28	0,18
$N_{60}P_{60}K_{60}$	106	158	243	117	0,37	0,23	0,26	0,23	0,15	0,18	0,32	0,19
N_{90} $P_{90}K_{90}$	160	204	274	123	0,41	0,24	0,31	0,25	0,19	0,18	0,35	0,19
$N_{120}P_{120}K_{120}$	119	130	293	97	0,42	0,26	0,34	0,22	0,20	0,19	0,41	0,18
$N_{150}P_{150}K_{150}$	186	120	305	105	0,43	0,28	0.37	0,27	0,23	0,20	0,37	0,21
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	15	20	20	24	0,04	0,04	0,03	0,07	0,03	0,04	0.04	0,06

Содержание лабильного углерода, извлекаемого в 0,1 М растворе пирофосфата натрия, варьировало от 0,13–0,20 до 0,20–0,37 % к массе почвы. Доля лабильного органического вещества в составе общего углерода составляет 14,6–16,8 %. Максимальное содержание углерода водной вытяжки было определено в почве севооборотного поля после уборки клевера 1-го года пользования – 168–105 мг/кг.

Методом корреляционно-регрессионного анализа выявлена связь урожайности картофеля с содержанием подвижного углерода в почве – r = 0,72–0,96. Корреляционная зависимость между содержанием $C_{эгв}$, $C_{0,1н\ NaOH}$, $C_{0,1\ M\ Na4P2O7}$ и урожайностью пшеницы – r = 0,75; 0,60 и 0,71 соответственно. Между урожайностью клевера 1-го года пользования с содержанием углерода в водной, щелочной и пирофосфатной вытяжках установлена корреляционная зависимость средней силы – r = 0,41; 0,30; 0,63 соответственно. Внесение NPK в возрастающих дозах способствовало накоплению активных компонентов в составе органического вещества.

Исследование элементного состава и молекулярной структуры гуминовых кислот дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы. По доминирующей парадигме второй половины XX века считалось, что преобладающая часть почвенного органического вещества (ПОВ) представлена гуминовыми веществами – высокомолекулярными, обогащенными гетероциклическим азотом, стабильными полимерами с ароматическим ядром и обширной алифатической периферией, которые и придают ПОВ многообразие и специфичность его свойств и функций, а соотношение углерода гуминовых и фульфокислот ($C_{гк}$:$C_{фк}$) отражает качество ПОВ [26]. Эти представления противоречат современным исследованиям, проведенным российскими и зарубежными учеными в начале XXI века. Новую информацию о природе образования, составе и строении гуминовых веществ дают инструментальные методы анализа (инфракрасная Фурье-спектроскопия, масс-спектроскопия, ядерно-магнитный резонанс, рентгеноструктурный анализ, электронное микроскопирование и др.) [27, 28].

Органическое вещество почвы подвергается непрерывному разрушению, создавая континуум более или менее разложившихся материалов разного размера, состава и структуры [29]. В настоящее время предложена трехслойная модель ПОВ. Ученые пришли к выводу, что гуминовые вещества и гуминовые кислоты в частности не являются гетерополимерами, а представляют собой «супрамолекулярные ассоциации самособирающихся гетерогенных и относительно небольших молекул, образующихся в результате деградации и разложения мертвого биологического материала». Формирование супрамолекулярных агрегатов обеспечивается невалентными взаимодействиями (ароматические π-π и гидрофобные взаимодействия, силы Ван-дер-Ваальса, электростатические и водородные связи) [29, 30, 31]. Многослойная модель гораздо лучше объясняет присущие почвенному органическому веществу (ПОВ) стабильность и доступность к биодеградации, чем полимерная концепция.

Основным критерием определения гуминовых веществ, по мнению Международного общества по гуминовым веществам (IHSS) и Американского общества почвоведов, на сегодняшний день по-прежнему является растворимость в щелочах [29]. Разная растворимость гуминовых веществ в кислотно-щелочных средах положена в основу их деления на гуминовые кислоты, фульвокислоты и неэкстрагируемый остаток (гумин).

Среди гуминовых веществ особое значение имеют гуминовые кислоты (ГК), так как они проявляют высокую функциональную активность, определяют специфику водных, физических, химических и тепловых свойств почвы. Их состав и структура зависят от условий почвообразования и изменяются при антропогенном воздействии на почву.

Для получения информации о строении супрамолекулярных агрегатов гуминовых кислот, наличии основных конституционных элементов в их структурных фрагментах и направлении трансформации органического вещества под действием природных и антропогенных факторов нами использован метод элементного анализа. Посредством определения элементного состава дается оценка особенностей органического вещества типов, подтипов, разновидностей почв (включая культурные варианты). Исходным и априорным основанием для такого рода оценок служит соответствие состава гумусовых кислот условиям почвообразования.

Соотношения основных конституционных элементов характеризуют направление процессов трансформации гуминовых кислот при антропогенном воздействии на почву. Соотношение H:C определяет степень обогащенности структуры ГК ароматическими фрагментами, O:C – степень окисленности, C:N – отражает роль азотсодержащих компонентов в построении гуминовых кислот [26].

Данные элементного анализа ГК целинной дерново-подзолистой почвы под лесом и лугом свидетельствуют о том, что в условиях промывного режима, пониженного содержания обменных оснований из обогащенных целлюлозо-лигнинным комплексом растительных остатков с низким содержанием азота формируются гуминовые кислоты с пониженным содержанием углерода и азота в составе агрегатов ГК. Низкая микробиологическая активность приводит к уменьшению скорости минерализации органического материала – растительных остатков, что приводит к возрастанию доли алифатических группировок, соотношение H:C составляет 1,43–1,56 (табл. 7).

Таблица 7 – **Элементный состав гуминовых кислот дерново-подзолистой почвы в длительном опыте в зависимости от приёмов землепользования /**
Table 7 – **Elemental composition of humic acids of sod-podzolic soil in long-term experiment depending on land use practices**

Вариант / Variant	*Содержание, % / Content, %*				*Атомные соотношения / Atomic rating*			*Степень окисленности / Oxidation level*
	C	*H*	*O*	*N*	*H / C*	*O / C*	*C / N*	
Бессменный чистый пар / Continuous «black» fallow	35,21 32,41	4,19 46,35	27,07 18,71	2,96 2,33	1,43	0,58	13,91	-0,28
Бессменный ячмень / Continuous barley	35,59 33,39	3,79 42,65	30,32 21,34	3,06 2,43	1,28	0,64	13,74	-0,001
Зерновой севооборот / Grain crop rotation	31,73 33,41	3,18 40,21	30,37 24,00	2,49 2,25	1,20	0,72	14,85	0,23
Типичный севооборот с унавоженным паром / Typical crop rotation with manured «black» fallow	35,75 32,83	4,07 44,85	28,83 19,88	2,84 2,24	1,37	0,61	14,66	-0,16
Севооборот с высоким насыщением бобовыми (43 %) / Crop rotation with high legume saturation (43 %)	25,96 28,36	3,61 47,41	26,68 21,89	2,24 2,10	1,67	0,77	13,50	0,13
Залежь (злаково-разнотравный луг) / Neglected field (grass-forb meadow)	25,49 29,50	2,89 40,10	32,14 27,93	2,32 2,31	1,36	0,95	12,77	0,53

Примечание: числитель – массовая доля; знаменатель – атомная доля (все расчеты приведены на обеззоленные препараты) /
Note: numerator – mass fraction; denominator – atomic fraction (all calculations are for deashed preparations)

Проведенные исследования показали, что гуминовые кислоты, выделенные препаративно из пахотной почвы длительного стационарного опыта и ее целинных аналогов, по содержанию конституционных элементов (C, H, N, O) соответствуют средним показателям для класса гуминовых кислот дерново-подзолистых почв.

Преобладание процессов минерализации органического вещества над накоплением гуминовых веществ отмечено в почве зернового севооборота и под бессменным ячменем. В этих условиях при деструкции органического материала наиболее быстро отщепляются алифатические группировки и остаются ароматические структурные фрагменты с более высоким содержанием углерода. В этих вариантах выявлено более низкое соотношение H:C, которое составляет 1,20–1,28 и свидетельствует о повышении доли ароматических структур в гуминовых кислотах при истощении почвы углеродом и элементами питания. Высокая степень окисленности (W = 0,23) ГК зернового севооборота указывает на глубину гумификации органического вещества [32]. Наиболее широкое соотношение C:N, равное 16,2, выявлено в ГК почвы зернового севооборота и показывает, что они обеднены азотом, так как формируются из бедных азотом растительных остатков зерновых культур [33].

ГК залежной почвы характеризуются минимальным содержанием водорода, максимальным – кислорода. Соотношение O:C гуминовых кислот рассматриваемых вариантов опыта возрастает с уменьшением антропогенной нагрузки на почву и максимально в ГК залежи – 0,95. Окисленность гуминовых кислот (W) варьирует в зависимости от типа землепользования в интервале от -0,26 до +0,53. Максимальное содержание кислородсодержащих групп определено в составе ГК залежной почвы. Высокая степень окисленности ГК с положительным знаком – свидетельство наиболее благоприятных условий гумификации органического вещества в почве залежи [33, 34].

Инфракрасная спектроскопия является обязательным и важнейшим диагностическим методом исследования гумусовых веществ. Метод позволяет идентифицировать атомные группировки, дает информацию о типе связей и элементах структуры молекул гуминовых кислот [34, 35, 36]. Совокупность и интенсивность полос поглощения позволяют судить о роли ароматических и алифатических фрагментов в структуре ГК. ИК-спектры используют как характерный диагностический признак гуминовых кислот и позволяют выявить некоторые особенности, связанные с условиями их образования.

Гуминовые кислоты, выделенные из почвы различных вариантов длительного опыта, имели однотипные ИК-спектры. Для примера представлены спектры почвы злаково-разнотравного луга и зернового севооборота (рис. 3, 4). По наличию полос поглощения в области 1718–1719 (колебания группы C = O карбоновых кислот) и 1632–1647 $см^{-1}$ (валентные колебания сопряженных двойных связей) можно предположить, что в супрамолекулярных агрегатах присутствуют ароматические структуры, которые более интенсивно выражены в спектрах гуминовых кислот почвы зернового севооборота. Агрегаты гуминовых кислот почвы злаково-разнотравного луга имели более разветвленную структуру, по-видимому, состоят из большего количества индивидуальных мономеров различной молекулярной массы с большим количеством алифатических группировок. Это подтверждается интенсивным поглощением в области 2929–2849 и 1400–1470 $см^{-1}$, вызванным валентными колебаниями, метильных и метиленовых группировок [37].

Сходство ГК пахотных и целинных почв обусловлено практически одинаковым набором факторов образования: почва, растения, влага, тепло, микроорганизмы; различия – качественным составом поступающего в почву органического материала и его количеством, интенсивностью антропогенного воздействия и случайностью сочетания факторов.

Экофизиологические показатели микробоценозов дерново-подзолистой почвы Предуралья. При окультуривании целинные дерново-подзолистые почвы утрачивают специфические черты естественных микробных сообществ. Смена естественной растительности культурной, обогащение почв минеральными элементами и доступными органическими соединениями резко изменяют условия обитания микроорганизмов. Состояние микробного сообщества почвы зависит от используемых агротехнических приемов (применения удобрения, возделывания почвозащитных культур, вида севооборота, техники заделки растительных остатков) [38, 39, 40].

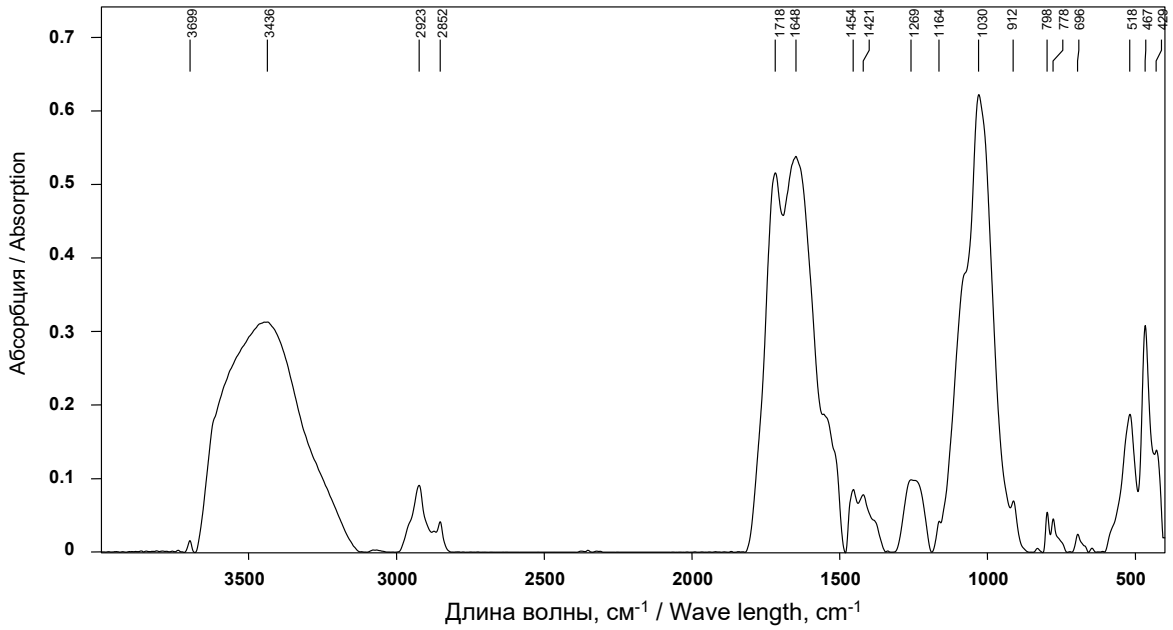


Рис. 3. **Инфракрасный спектр гуминовых кислот дерново-подзолистой почвы под разнотравно-злаковым лугом /**

Fig. 3. **Infrared spectrum of humic acids of sod-podzolic soil under grass-forb meadow**

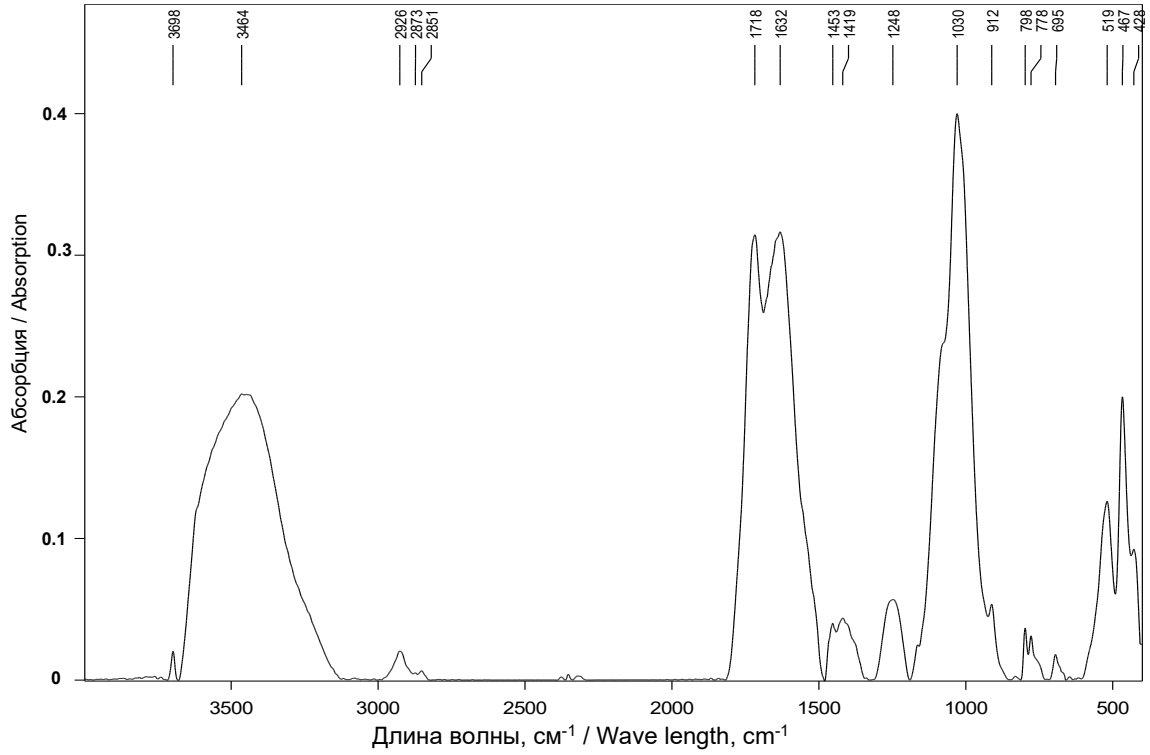


Рис. 4. **Инфракрасный спектр гуминовых кислот дерново-подзолистой почвы в зерновом севообороте (бобовых культур – 0 %) /**

Fig. 4. **Infrared spectrum of humic acids of sod-podzolic soil in grain crop rotation (legume crops – 0 %)**

Общую закономерность влияния агротехнологий на почвенные микроорганизмы отражает показатель продуцирования ими углекислого газа [39]. По динамике и скорости продуцирования углекислоты можно судить не только о напряженности биологических процессов, но и оценить потери органического вещества вследствие развития процессов

минерализации. Микробная биомасса считается наиболее лабильным компонентом органического вещества, в первую очередь реагирующим на изменения окружающей среды и отражающим тренд накопления или минерализации органического вещества почвы [40]. Почвы разных климатических зон различаются не только по содержанию микробной биомассы, но и по ее чувствительности к природным и антропогенным воздействиям. В дерново-подзолистой почве изменения содержания микробной биомассы на 59 % определялись влиянием антропогенных факторов и лишь на 14 % – сезонными колебаниями, тогда как в выщелоченном черноземе вклад этих факторов равнялся 5 и 66 % соответственно. Микробная биомасса, ее активность и разнообразие микробного сообщества широко используются в международных мониторинговых исследованиях [41] и в качестве индикаторов устойчивости почв к внешним воздействиям. По данным [42], в пахотных почвах содержание микробной биомассы значительно ниже, чем под лесом и залежью. Доля микробного углерода в общем углероде почвы варьирует от 1 до 15 %.

Важный процесс, характеризующий интенсивность протекающих биологических процессов в почве – азотфиксация. Азот – биогенный элемент, изменения и превращения которого в почве напрямую связаны с органическим веществом и микробиологической активностью почвы [43]. В агроэкосистемах биогеохимический цикл азота сильно нарушен из-за регулярных обработок почвы, внесения удобрений, применения севооборотов разных типов и выноса значительного количества азота с урожаем. Важнейшим источником поступления азота в почву служит биологический, фиксируемый микроорганизмами азот атмосферы, составляющий более половины общего количества этого элемента, поступающего в почву. Ацетиленовый метод показывает, что 70–80 % культур бактерий, выделяемых из почвы на питательные среды, фиксирует азот. Способность азотфиксаторов активно размножаться в почве и проявлять свои многогранные качества весьма ограничена из-за дефицита легкодоступных органических веществ в почве и высокой требовательности микроорганизмов к условиям среды обитания.

Изучены показатели микробиологической активности целинной и пахотной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Среднего Предуралья [44]. В почве под смешанным лесом установлено наибольшее содержание углерода микробной биомассы (1236 мкг/г), максимальная скорость продуцирования CO_2 (3,13 мкг C-CO_2/г час) и азотфиксация (77,18 мкг C_2H_4/кг час) (табл. 8).

Таблица 8 – **Экофизиологические показатели состояния микробного сообщества дерново-подзолистой почвы (слой 0–20 см) [44] /**
Table 8 – **Ecophysiological indicators of the microbial community of sod-podzolic soil (0–20 cm layer) [44]**

Вариант / Variant	*БД / BR, µg C-CO_2/g hour*	*СИД / SIR, µg C-CO_2/g hour*	*$C_{мик}$, мкг/г / C_{mic}, µg/g*	*qCO_2 µg CO_2-C /mg C_{mic} hour*	*$C_{мик}/C_{орг}$, % / C_{mic}/C_{org}, %*	*$C_{мик}/C_{лаб}$ $Na_2P_2O_7$, % C_{mic}/C_{lab}*	*Азотфиксация / Nitrogen fixation, µg C_2H_4 /kg hour*
Бессменный чистый пар / Continuous «black» fallow	1,62±0,56	9,1±2,2	366±88	4,4	4,7	21,5	11,53±2,38
Бессменный ячмень / Continuous barley	2,02±0,36	10,3±1,03	413±42	4,9	3,8	19,7	15,54±1,74
Козлятник восточный (бессменно) / Eastern galega (continuous)	2,75±0,34	29,5±5,57	1182±223	2,3	8,2	42,2	47,60±15,85
Полевой восьмипольный севооборот / Eight-field crop rotation	2,86±0,28	13,8±2,54	554±102	5,2	5,3	21,3	32,1±3,87
Злаково-разнотравный луг / Grass-forb meadow	2,77±0,35	14,3±1,47	571±59	4,8	4,6	28,6	62,14±11,38
Смешанный лес / Mixed forest	3,13±0,30	30,9±3,42	1236±137	2,5	4,6	21,7	77,18±22,96

Примечания: БД – базальное дыхание; СИД – субстрат-индуцированное дыхание; qCO_2 – удельное дыхание микробной биомассы в почве (микробный метаболический коэффициент); $C_{мик}/C_{орг}$ – доля углерода микробной биомассы ($C_{мик}$) в органическом углероде ($C_{орг}$) почвы /

Notes: BR – basal respiration; SIR – substrate-induced respiration; qCO_2 – specific respiration of microbial biomass in the soil (microbial metabolic quotient); C_{mic}/C_{org} – carbon content of microbial biomass (C_{mic}) in organic carbon (C_{org}) of the soil

Отмечено низкое удельное дыхание микробной биомассы в почве – 2,5 мкг C-CO_2/мг $C_{мик}$ час, что свидетельствует об устойчивости и стабильности данной экосистемы. Многолетнее (40 лет) парование дерново-подзолистой почвы (интенсивная механическая обработка и отсутствие поступления растительных остатков) обусловило минимальное содержание органического вещества, микробной биомассы, минимальное базальное дыхание (БД) и азотфиксацию (в 1,9–6,7 раза меньше, чем под лесом).

При бессменном выращивании ячменя и возделывании полевых культур в севообороте поступление в почву растительных остатков (даже в незначительном количестве) замедлило скорость минерализации органического вещества и соответственно увеличило содержание $C_{мик}$ и микробную дыхательную активность. Количество общего органического углерода, микробная биомасса, скорость продуцирования CO_2 по сравнению с бессменным паром возросли в 1,1–1,7 раза. Лучшие условия функционирования и более слабую степень нарушения устойчивости микробного сообщества среди рассматриваемых пахотных почв наблюдали при длительном возделывании многолетней бобовой культуры – козлятника восточного. Содержание органического вещества, углерода микробной биомассы и метаболический микробный коэффициент под козлятником соответствовали почве лесной экосистемы. Показано, что количество и качество органического субстрата, поступающего в почву при ее различном землепользовании, определяет содержание микробной биомассы и базальное дыхание. Установлена высокая корреляционная зависимость углерода микробной биомассы, базального дыхания с общим содержанием органического углерода (r = 0,81–0,90), а также высокая и средняя зависимость с его лабильной фракцией (r = 0,67–0,79).

Таким образом, среди пахотных почв более стабильное функционирование микробного сообщества наблюдали при длительном (более 30 лет) возделывании многолетней бобовой культуры – козлятника восточного, где содержание углерода микробной биомассы и удельное микробное дыхание соответствовали почве лесной экосистемы.

Новый импульс в изучении органического вещества почвы. В связи с проблемой глобального изменения климата повышенное внимание уделяется оценке возможной секвестрации углерода, увеличению углеродсеквестрирующей способности агроценозов [16, 45, 46]. Под почвенной секвестрацией углерода понимается перевод атмосферного углекислого газа в живое органическое вещество растений (фотосинтез) с последующей трансформацией мортмассы в почвенное органическое вещество и его долговременное хранение в почвенном резервуаре с минимальным риском немедленного возврата в атмосферу [47, 48, 49].

Сельскохозяйственное производство является одним из источников парниковых газов, меняющих климат на планете. В то же время сельское хозяйство может применять технологии, обеспечивающие уменьшение поступления парниковых газов из атмосферы при внедрении регенеративного (восстановительного) сельского хозяйства за счет методов, обеспечивающих восстановление почв в процессе использования.

Стратегическая цель эффективного использования земель сельскохозяйственного назначения – накопление и сохранение органического вещества в почве. Для этого необходимо создание определенных условий землепользования: минимальная обработка почвы, внесение высоких доз органических удобрений, увеличение количества и улучшение качества биомассы, поступающей в почву, возделывание сельскохозяйственных культур и сортов, активно секвестрирующих углерод атмосферы, использование генетических ресурсов микроорганизмов, стимулирующих рост и развитие растений, и другие агротехнические приемы.

Основными резервуарами-накопителями углерода, которые влияют на природные потоки CO_2 и его концентрацию в атмосфере, являются наземная растительная биомасса и почвенное органическое вещество. Углеродный баланс экосистем – это интегральный показатель их функционирования, он отражает интенсивность основных процессов, происходящих в живых системах: фотосинтеза и дыхания. Особо необходимо регулировать потерю или накопление органического вещества в пахотных почвах агроценозов, которые являются основным и долговременным резервуаром для стока углерода. Любые изменения в системе землепользования неизбежно приводят к изменениям запасов органического вещества.

Считается, что закрепиться в почве может лишь столько $C_{орг}$, сколько позволяют физико-

химические свойства почвы. Вследствие этого реальные размеры секвестрации возможны только до определенного уровня, соответствующего порогу насыщения почвы органическим углеродом, выше которого поступление свежего органического вещества не приводит к дополнительному накоплению $C_{орг}$ [50]. Гранулометрический состав дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв указывает на высокий потенциал для насыщения их углеродом. Процесс образования устойчивых органоминеральных комплексов, вероятно, лимитируется биоклиматическим потенциалом конкретной зоны. Количество стабилизированного органического вещества в почве характеризует углеродпротекторную емкость почвы (углероддепонирующий потенциал почвы (СРС).

Исследования ведущих российских и зарубежных ученых показали, что способность почв стабилизировать и сохранять CO_2 атмосферы контролируется содержанием тонкодисперсных гранулометрических фракций пыли и глины размером <0,05 (0,02) мм. Чем больше насыщенность этих фракций органическим углеродом, тем меньше углеродсеквестрирующий потенциал почвы.

Средняя величина углеродпротекторной емкости исследуемой почвы варьирует от 26,1 до 32,9 г С/кг в слое почвы 0–20 см и практически не зависит от приемов ее использования (табл. 9) [21]. Если рассчитывать углеродпротекторную емкость пахотной почвы в т/га, то СРС исследуемой почвы составит 75,8–82,3 т/га органического углерода в слое 0–20 см. Исследуемая пахотная почва насыщена углеродом от 25,95 % (бессменный чистый пар) и до 50,4 % (севооборот восьмипольный, $N_{150}P_{150}K_{150}$). Следовательно, у пахотной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Среднего Предуралья высокий потенциал для секвестрации атмосферного углерода, его накопления и депонирования в почве. Значимыми факторами, оказывающими влияние на содержание органического углерода, являются количество и качественный состав биомассы, поступающей в почву агроценозов.

Нами установлено, что естественная дерново-подзолистая почва находится в устойчивом состоянии, процессы минерализации и гумусообразования под лесной растительностью уравновешены. Накопления органического углерода в течение 30 лет исследований не наблюдали, сколько поступает органического вещества с растительными остатками, столько и минерализуется.

Содержание $C_{орг}$ в почве под лесом составляет 3,45±0,02 %, запасы – 52,8 т С/га соответственно. В почве под лесом установилось динамическое равновесие между минерализацией и накоплением органического вещества. Содержание органического углерода находится на стационарном уровне и не меняется за годы наблюдения. Расчетным путем установлено, что насыщенность верхнего органогенного горизонта без учета лесной подстилки составляет 39,9 т С/га (слой 3–20 см, d = 0,9 г/см^3), экспериментально определено 52,8 т/га. Следовательно, целинная почва под лесом полностью насыщена углеродом.

Применение различных систем удобрения неизбежно приводит к изменениям запасов органического вещества, таким образом, его потерю или накопление в пахотных почвах можно регулировать. Анализ динамики содержания и запасов органического углерода в стационарных полевых опытах Пермского НИИСХ в зависимости от длительности использования почвы и применяемых агротехнологий показал, что наибольшие изменения происходят в первые 1-2 ротации севооборота или первые 10–12 лет землепользования. Далее в почве устанавливается новое квазистационарное состояние – уравновешенность процессов минерализации и гумусообразования.

Интенсивная обработка почвы инициировала значительные потери почвенного углерода (см. рис. 1). За годы наблюдений в бессменно парующей почве в слое 0–20 см запасы органического углерода уменьшились на 8,3 т/га. Использование атмосферного углекислого газа на процесс фотосинтеза растениями в почве чистого бессменного пара приближается к нулю, однако в небольших количествах оно существует за счет сорной растительности.

В севообороте с минеральной системой удобрения почвы в контрольном варианте за 30 лет ведения опыта запасы углерода в пахотном слое почвы (0–20 см) сократились на 5,5 т/га (табл. 10). В этом варианте процесс минерализации органического вещества в почве преобладает над его накоплением. Общее количество С-CO_2 атмосферы, преобразованного в фитомассу, с учетом основной продукции (зерно), посевами овса составляет около 5,37 т/га в год.

Таблица 9 – **Углеродпротекторная емкость (CPC) дерново-подзолистой почвы, слой 0–20 см [21] /**
Table 9 – **Carbon protective capacity (CPC) of sod-podzolic soil, layer 0–20 cm [21]**

Вариант / Variant	*Содержание, % от массы почвы / Content, % of soil mass*		*Углеродпротекторная емкость почвы, г С/кг почвы / Carbon protective capacity of soil, g C/kg of soil*			
	сумма частиц <0,02 мм / sum of particles <0.02 mm	*сумма частиц <0,05мм / sum of particles <0.05mm*	*CPC_1 (<0,02 мм) / (<0.02mm)*	*CPC_2 (<0,02 мм 2:1) / (<0.02 mm 2:1)*	*CPC_4 (<0,05 мм 2:1) / (<0.05 mm 2:1)*	*CPC среднее / CPC average*
Бессменный чистый пар / Continuous «black» fallow	66,7	74,3	28,8	31,2	30,4	30,1
Полевой восьмипольный севооборот (вариант без удобрений) / Eight-field crop rotation (variant without fertilizer)	70,8	79,2	30,3	32,9	31,4	31,5
Полевой восьмипольный севооборот (вариант $N_{150}P_{150}K_{150}$) / Eight-field crop rotation (variant $N_{150}P_{150}K_{150}$)	74,5	84,8	31,7	34,4	32,6	32,9
Козлятник восточный 1988 г. посева (бессменно) / Eastern galega 1988 sowing (continuous)	65,4	72,4	28,3	30,7	30,0	29,7
Злаково-разнотравный луг / Grass-forb meadow	64,9	71,2	28,1	30,5	29,7	29,4
Смешанный лес / Mixed forest	55,3	59,0	24,6	26,5	27,2	26,1

Примечания: CPC_1, CPC_2 – углеродпротекторная емкость почвы, г С/кг, рассчитанная по уравнениям, представленным в работе [50] с учетом содержания в почве гранулометрических частиц размером <0,02 мм; CPC_4 углеродпротекторная емкость почвы, г С/кг, рассчитанная по уравнению, представленному в работе [51] с учетом содержания в почве гранулометрических частиц размером <0,05 мм; соотношение 2:1 означает преобладание в минеральном составе почвы глины.

Notes: CPC_1, CPC_2 – carbon protective capacity of soil, g C/kg, calculated by the equations presented in [50] taking into account the content of granulometric particles <0.02 mm in the soil; CPC_4 – carbon protective capacity of soil, g C/kg, calculated by the equation presented in [51] taking into account the content of granulometric particles <0.05 mm in the soil; the ratio 2:1 means the predominance of clay in the mineral composition of soil.

Таблица 10 – **Количество и качество биомассы, поступающей в почву в различных фитоценозах /**
Table 10 – **Quantity and quality of biomass entering the soil in different phytocenoses**

Объект исследования / Object of research	*Основная продукция / Main product*					*Побочная продукция (солома) / By-product (straw)*					*Пожнивно-корневые остатки / Stubble and root residues*				
	кол-во, т/га / quantity, t/ha	*C*		*N, %*	*C / N*	*кол-во, т/га / quantity, t/ha*	*C*		*N, %*	*C / N*	*кол-во, т/га / quantity, t/ha*	*C*		*N, %*	*C / N*
		%	*т/га / t/ha*				*%*	*т/га / t/ha*				*%*	*т/га / t/ha*		
Лесная подстилка: мелкие ветки, листья хвойных и лиственных деревьев, трава / Forest litter: small branches, leaves of conifers and deciduous trees, grasses	6,0	45,6	2,7	2,0	22,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Злаково-разнотравный луг (наземная биомасса + войлок) / Grass-forb meadow (aboveground biomass + felt)	2,3	44,1	1,0	1,8	24,2	-	-	-	-	-	3,8	36,7	1,4	0,9	40,3
Козлятник восточный 1988 г. посева (пожнивно-корневые остатки) / Eastern galega 1988 sowing (stubble and root residues)	8,6	44,5	3,8	2,8	15,7	-	-	-	-	-	10,1	45,1	4,6	2,2	20,2
Полевой восьмипольный севооборот (вариант без удобрений), овес / Eight-field crop rotation (variant without fertilizer), oat	5,0	42,5	2,3	2,0	21,0	5,0	42,3	2,1	0,4	120,9	3,5	32,0	1,1	0,6	53,3
Полевой восьмипольный севооборот (вариант $N_{150}P_{150}K_{150}$), овес / Eight-field crop rotation (variant $N_{150}P_{150}K_{150}$), oat	5,1	42,5	2,2	2,3	18,9	6,7	42,9	2,9	0,5	82,6	3,8	32,8	1,3	0,7	44,9

Длительное применение минеральных удобрений в дозе 150 кг д. в./га обеспечило равновесное состояние между поступлением $C_{орг}$ в почву и его минерализацией. С учетом основной продукции при выращивании овса в почву поступает около 6,3 т/га в год углерода, преобразованного из углекислого газа атмосферы в биомассу растений. В этом варианте количество поступающего в почву $C_{орг}$ ежегодно с побочной продукцией (соломой) и пожнивно-корневыми остатками поддерживает установившийся уровень органического вещества, и соответствует количеству минерализованного углерода в год.

В работе [52] представлены экспериментальные данные по накоплению и потерям органического углерода в севообороте за шесть ротаций длительного стационарного опыта. Установлено, что за вегетационный период в процессе фотосинтеза растения ячменя ярового связывают в органические соединения 2,8–3,3 т/га углерода из атмосферы (10,3–11,6 т/га CO_2) за вегетационный период, клевера лугового второго года пользования – 4,2–5,2 т С/га (15,1–18,6 т/га CO_2) в зависимости от вариантов опыта. За ротацию восьмипольного севооборота возделываемые культуры секвестрируют из атмосферы 82,3–99,3 т/га углекислого газа, или 22,4–27,1 т/га углерода в зависимости от системы удобрения почвы (табл. 11). Накопление органического углерода 5,0 т/га в слое 0–20 см относительно исходного содержания за шесть ротаций севооборота наблюдали при насыщении почвы навозом КРС 20 т/га, совместном применении навоза КРС 20 т/га и эквивалентного количества NPK. В этом варианте определено накопление органического углерода в слое 0–40 см на 11 т/га, в слое 0–100 см на 32 т/га больше, чем в варианте без удобрений, следовательно, углерод будет длительно храниться в глубинных слоях почвы, т. е. находиться на депонировании (рис. 5).

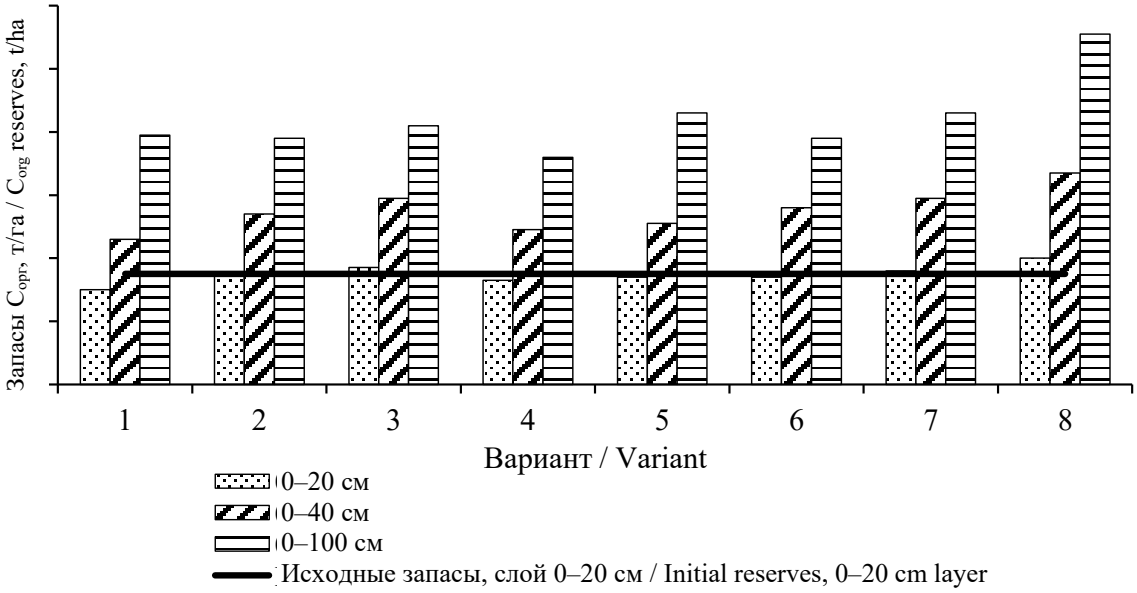


Рис. 5. **Изменение запасов $C_{орг}$ в почве при длительном применении органической, минеральной и органоминеральной систем удобрения (VI ротация севооборота):** 1 – без удобрений; 2 – навоз 10 т/га; 3 – навоз 20 т/га; 4 – NPK экв. 10 т/га навоза; 5 – NPK экв. 20 т/га навоза; 6 – навоз 5 т/га + NPK экв.; 7 – навоз 10 т/га + NPK экв.; 8 – навоз 20 т/га + NPK экв. /

Fig. 5. **Change of C_{org} reserves in soil under long-term application of organic, mineral and organomineral fertilization systems (VI rotation of crop rotation):** 1 – without fertilizer; 2 – manure 10 t/ha; 3 – manure 20 t/ha; 4 – NPK eqv. 10 t/ha manure; 5 – NPK eqv. 20 t/ha manure; 6 – manure 5 t/ha + NPK eqv.; 7 – manure 10 t/ha + NPK eqv.; 8 – manure 20 t/ha + NPK eqv.

Известно, что многолетние травы имеют не только кормовое значение, но и способствуют повышению плодородия почвы и увеличению урожая последующих за ними культур в севообороте. Количество органической биомассы, поступающее в почву с корневыми и пожнивными остатками многолетних трав при благоприятных погодных условиях, в 3–5 раз превышает его количество, оставляемое однолетними культурами.

Таблица 11 – **Секвестрация атмосферного углерода сельскохозяйственными культурами за шестую ротацию севооборота (среднее по двум полям)**
Table 11 – **Sequestration of atmospheric carbon by crops for the sixth rotation of crop rotation (average for two fields)**

Вариант / Variant	*Урожайность / сбор углерода / Yield / carbon harvest*	*Рожь / Rye*		*Пшеница / Wheat*		*Клевер 1-го г.п. / Clover 1 year of use*		*Клевер 2-го г.п. / Clover 2 year of use*		*Ячмень / Barley*		*Картофель / Potatoes*		*Овёс / Oats*		*Общий сбор C / CO_2, т/га / Total C / CO_2 harvest, t/ha*
		зерно / grain	*солома + ПКО / straw + SRR*	*зерно / grain*	*солома + ПКО / straw + SRR*	*сено / hay*	*ПКО / + SRR*	*сено / hay*	*ПКО / + SRR*	*зерно / grain*	*солома + ПКО / straw + SRR*	*клубни / tubers*	*ботва + ПКО / Roughage + SRR*	*зерно / grain*	*солома + ПКО / straw + SRR*	
Без удобрений / Without fertilizer	1	3,2	8,1	2,5	6,3	3,3	4,3	3,0	4,2	3,6	7,2	2,8	1,3	1,6	3,8	-
	2	1,3	3,3	1,1	2,6	1,4	1,7	1,3	1,7	1,5	3,0	1,2	0,5	0,7	1,3	22,4/82,3
Навоз 10 т/га / Manure 10 t/ha	1	3,8	9,1	2,8	6,7	3,2	4,2	3,0	4,2	3,8	7,4	3,2	1,5	1,6	4,1	-
	2	1,6	3,7	1,2	2,8	1,3	1,7	1,3	1,7	1,6	3,0	1,3	0,6	0,7	1,5	23,9/87,8
Навоз 20 т/га / Manure 20 t/ha	1	4,1	9,6	3,0	7,1	3,5	4,3	3,3	4,3	3,8	7,7	3,4	1,6	1,8	4,3	-
	2	1,7	3,9	1,3	2,9	1,5	1,8	1,4	1,7	1,6	3,2	1,4	0,7	0,8	1,6	25,3/92,7
NPK экв. 10 т/га навоза / NPK eqv. 10 t/ha manure	1	4,0	9,5	3,4	7,6	3,1	4,2	3,3	4,3	3,8	7,6	4,1	2,0	1,8	4,3	-
	2	1,7	3,8	1,4	3,1	1,3	1,7	1,4	1,7	1,6	3,1	1,7	0,8	0,8	1,6	25,7/94,3
NPK экв. 20 т/га навоза / NPK eqv. 20 t/ha manure	1	4,2	9,7	3,4	7,8	3,1	4,2	3,8	4,4	4,1	8,3	4,0	1,9	2,1	4,8	-
	2	1,8	3,9	1,4	3,2	1,3	1,7	1,6	1,8	1,7	3,4	1,6	0,8	0,9	1,7	26,6/98,5
Навоз 5 т/га + NPK экв. / Manure 5 t/ha + NPK eqv.	1	4,1	9,8	3,2	7,3	3,5	4,3	3,7	4,4	3,9	7,4	4,9	2,4	1,6	4,1	-
	2	1,7	3,9	1,4	3,0	1,5	1,8	1,5	1,8	1,6	3,1	2,0	1,0	0,7	1,5	26,4/96,7
Навоз 10 т/га + NPK экв. / Manure 10 t/ha + NPK eqv	1	4,2	10,1	3,5	8,1	3,4	4,3	3,9	4,4	3,8	7,3	4,3	2,0	1,9	4,4	-
	2	1,8	4,1	1,5	3,3	1,4	1,8	1,6	1,8	1,6	3,0	1,8	0,8	0,8	1,6	26,8/98,3
Навоз 20 т/га + NPK экв. / Manure 20 t/ha + NPK eqv	1	4,4	10,3	3,3	8,0	3,4	4,3	3,9	4,4	3,5	7,3	4,2	2,0	2,0	5,2	-
	2	1,9	4,2	1,4	3,3	1,4	1,8	1,6	1,8	1,4	3,0	1,7	0,8	0,9	1,9	27,1/99,3

Примечания: 1 – урожайность основной и побочной продукции, т/га; 2 – сбор углерода, т / Notes: 1 – yield of main and by-products, t/ha; 2 – carbon harvest, t

Поглощение атмосферного углерода растениями зависит от интенсивности процессов фотосинтеза, который наиболее активно протекает у бобовых, обладающих более высокой ассимиляционной поверхностью листьев, по сравнению со злаковыми культурами. Изменение запасов органического углерода проходило более интенсивно при возделывании козлятника восточного. Козлятник восточный (*Galéga orientalis*) – уникальная многолетняя культура, способствующая перемещению атмосферного углерода в состав почвенного органического вещества посредством заделки растительной биомассы в почву. В процессе вегетации козлятник формирует большую ассимиляционную поверхность, к моменту полного цветения площадь листьев составляет 60–70 тыс. м^2/га (60–90 ц/га сухого вещества) [49]. Козлятник восточный формирует в зависимости от гидротермических условий вегетационного периода дополнительно второй укос (2–4 т/га сухой массы) и перед уходом в зиму наращивает зеленую массу в количестве 1–3 т/га на сухое вещество.

За 30 лет бессменного возделывания многолетней бобовой культуры – козлятника восточного запасы углерода в слое 0–20 см повысились на 5,4 т/га, наблюдается увеличение гумусово-аккумулятивного горизонта почвы (А1) до 36 см относительно целинной почвы злаково-разнотравного луга (22 см).

За вегетационный период в процессе фотосинтеза козлятник восточный преобразует из атмосферы в биомассу растений более 30 т/га CO_2, или 8,38 т С/га в год. За счет большого количества и благоприятного биохимического состава пожнивно-корневых остатков козлятника наблюдается накопление органического углерода в почве.

Левзея сафлоровидная (*Rhapónticum carthamoides*) – многолетнее травянистое растение, относится к семейству Астровые или Сложноцветные. Продолжительность периода от весеннего отрастания до первого укоса в Пермском крае составляет 44–52 дня при сумме положительных температур 456,2–676,5 °С, до второго укоса – 44–52 дня после первого скашивания при сумме температур 899,2–1355,7 °С. Для сравнения аккумулированного из атмосферы и накопленного в почве углерода использовали целинный аналог – злаково-разнотравный луг, который является некосимым неудобряемым лугом.

В процессе фотосинтеза количество поглощенного углерода травостоем левзеи сафлоровидной составило 6,8–11,5 т/га (24,3–41,3 т/га CO_2) в зависимости от варианта опыта, естественным фитоценозом – 2,4 т/га углерода (8,6 т/га CO_2) за вегетационный период [53].

Левзея сафлоровидная характеризуется большой надземной и подземной биомассой и продуктивным долголетием. Благодаря большой ассимиляционной поверхности листьев, культура обеспечивает высокую урожайность зеленой массы и пожнивно-корневых остатков. После уборки левзеи сафлоровидной 14-го года жизни в дерново-подзолистой почве определено высокое количество ПКО – 13,7–17,3 т/га. В целинную почву злаково-разнотравного луга ежегодно поступает в среднем по 2,3 т/га зеленой массы, содержание ПКО (войлок) составляет 3,8 т/га. Содержание органического углерода в почве под левзеей сафлоровидной 14-го года жизни обусловлено величиной ежегодного поступления большого количества растительных остатков и скоростью их гумификации, которая определяется качественным составом и гидротермическими условиями. В слое почвы 0–20 см содержание углерода повысилось относительно исходного уровня на 3,6 % в варианте без удобрений и на 15,1 % в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$, в слое 20–40 см – на 8,8 и 42,6 % соответственно. Относительно целинного аналога под многолетней кормовой культурой в слое 0–20 см содержание углерода было выше на 15,2–28,0 %, в слое 20–40 см – на 25,0–64,4 % в зависимости от варианта опыта, что свидетельствует о депонировании углерода в виде гумусовых веществ в более глубоких слоях почвы.

Анализ почвенного микробиома. На сегодняшний день существует объективная необходимость расширить показатели плодородия и экологического состояния почв для оценки и мониторинга почвенных ресурсов. Анализ почвенного микробиома позволяет выявить такие показатели, как биоразнообразие и численность индикаторных таксонов в почвах сельскохозяйственного назначения, подвергающихся антропогенному воздействию, применяется для определения таксономической структуры сообществ почв разных природных зон и экосистем, поиска связей между экологическими факторами среды, функциональным профилем сообществ микроорганизмов и осуществляемыми им процессами и функциями [54]. Выявлено, что различия между почвами

контрастных природных зон незначительны по сообществам микроорганизмов [55]. При этом анализ таксономического состава бактериальных сообществ позволяет выявлять различия в почвах разных типов землепользования [56]. Экосистемное равновесие в целинной почве поддерживается на основе низкого разнообразия, но более высокой численностью микроорганизмов [57]. Обработка почвы и севооборот влияют на структуру микробиома. При вспашке с оборотом пласта в почве определили больше микроорганизмов, связанных с разложением растительных остатков, циклами углерода и азота, а также эукариот. При минимальной обработке почвы выявлено больше азотфиксирующих ризобий и архей [58]. Микробные сообщества значительно различаются по горизонтам почвы, их состав зависит от активности почвенных процессов (осадки, температура). Микробоценоз почвы реагирует на внесение органических и минеральных удобрений, известкование и другие антропогенные факторы [59, 60, 61].

Анализ данных высокопроизводительного секвенирования (16S рРНК профилирования) микробных сообществ дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв Среднего Предуралья выявил 17 филумов, состоящих из доменов *Archaea* (1 филум) и *Bacteria* (16 филумов). Показано, что пахотные почвы характеризуются большим разнообразием (индекс Шеннона и индекс Симпсона) и богатством микроорганизмов, чем целинная почва злаково-разнотравного луга. Среди бактерий наиболее широко представлены филумы *Proteobacteria* (17,06–21,39 %) и *Actinobacteriota* (11,19–20,32 %). Основными классами во всех образцах почв являлись *Actinobacteria* (6,90–17,55 %), *Alphaproteobacteria* (11,03–13,09 %), *Bacteroidia* (4,24–8,90 %), *Gammaproteobacteria* (5,41–8,44 %), *Verrucomicrobiae* (4,57-9,78 %). В пахотной почве вариантов с внесением минеральных и органических удобрений, в отличие от целинной почвы, среди доминирующих выделился класс *Nitrososphaeria* (5,77–9,35 %), представители которого играют важную роль в азотном цикле.

Выявлены различия в составе таксономической структуры пахотной почвы длительного стационарного опыта и целинной почвы злаково-разнотравного луга. В целинной почве не обнаружены бактерии филума *Firmicutes,* при этом значительно больше, чем в пахотной, бактерий филума *Verrucomicrobiota*, бактерий рода *Candidatus Udaeobacter,* бактерий семейств *Xanthobacteraceae* и *Ilumatobacteraceae,* бактерий рода *Bradyrhizobium.* В пахотной почве отмечено снижение относительно целинной в 2-3 раза филума *Verrucomicrobiota*, выявлено присутствие филума *Firmicutes,* архей рода *Ca*. *Nitrososphaera.* В вариантах с минеральными и органическими удобрениями наблюдается уменьшение доли филумов: *Actinobacteria, Proteobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes,* бактерий рода *Candidatus Udaeobacter* и увеличение доли аммиак-окисляющих архей рода *Candidatus Nitrososphaera.* Известно, что почвенные бактериальные сообщества больше реагируют на изменение почвенной среды, чем на изменение климата или увеличение географического расстояния. В работе [62] выявлены сильные корреляции между относительной численностью представителей *Pirellulaceae* и pH почвы, представителей *Gaiellaceae* и соотношением углерода к азоту, представителей *Bradyrhizobium* и уровнями Olsen P (мера фосфора, доступного растениям), а также представителей *Chitinophagaceae* и концентрацией алюминия. С использованием коэффициента Пирсона нами выявлена положительная значимая корреляция между представительством филумов *Firmicutes, Gemmatimonadota*, *Crenarchaeota, Nitrospirota, Proteobacteria Patescibacteria* и содержанием легкогидролизуемого азота в почве. Установлена корреляция филумов *Actinobacteriota, Bacteroidota*, *Bdellovibrionota и Deinococcota* с минеральным азотом почвы.

Получен большой массив экспериментальных данных по бактериальному и грибному сообществу дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы, требующий серьезного осмысления.

Заключение. Анализ научной литературы и результаты собственных исследований позволяют сделать вывод о том, что в агроценозах прослеживаются три разнонаправленных тенденции изменения органического углерода в почве по сравнению с исходным уровнем при смене режима землепользования: уменьшение содержания $C_{орг}$ при интенсивной механической обработке и отсутствии удобрений; сохранение $C_{орг}$ при внесении удобрений органических и минеральных, обеспечивающих достаточное поступление растительной биомассы в почву; увеличение содержания $C_{орг}$ при минимальной обработке почвы и поступлении большого количества органического вещества с биомассой возделываемых культур

в севообороте и органическими удобрениями или при возделывании многолетних культур в выводных полях, таких как козлятник восточных и левзея сафлоровидная.

На основании полученных экспериментальных данных и обобщения научной литературы установлено, что содержание активных трансформируемых компонентов органического вещества, определяющих эффективное плодородие дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы, выше в целинной почве (0,84–2,67 %), чем в пахотной (0,26–0,64 %). Содержание ЛОВ в агроценозах зависит от многих факторов, однако определяющее значение имеет система землепользования. Установлена корреляционная зависимость между содержанием различных фракций ЛОВ и урожайностью пшеницы – r = 0,60–0,75. Показано, что в почвенно-климатических условиях Среднего Предуралья за вегетационный период дерново-подзолистая почва потенциально может терять от 2,37 до 3,21 % от общего содержания углерода в результате его минерализации.

В условиях промывного водного режима исследуемых почв, пониженного содержания обменных оснований из обогащенных целлюлозо-лигнинным комплексом растительных остатков с низким содержанием азота формируются гуминовые кислоты с пониженным содержанием углерода и азота в составе агрегатов ГК. Низкая микробиологическая активность приводит к уменьшению скорости минерализации органического материала – растительных остатков, что способствует возрастанию доли алифатических группировок в супрамолекулярных агрегатах гуминовых кислот. Соотношение H:C составляет 1,20–1,67.

Изучены показатели микробиологической активности целинной (смешанный лес, злаково-разнотравный луг) и пахотной (бессменный чистый пар, бессменный посев ячменя, полевой севооборот, многолетняя бобовая культура) дерново-подзолистой почвы. Содержание органического вещества, углерода микробной биомассы и удельное микробное дыхание под козлятником восточным соответствовали почве лесной экосистемы. Установлена высокая и средняя корреляционная зависимость содержания углерода микробной биомассы и базального дыхания от общего содержания органического углерода (r = 0,81–0,90) и его лабильной фракцией (r = 0,67–0,79).

Показано, что микробная биомасса, базальное и субстратиндуцированное дыхание являются индикаторами плодородия почвы.

Почва одновременно выступает как источник, и как хранилище атмосферного углекислого газа. Пахотные почвы – основной объект для управления углеродным циклом. Обобщение научной литературы свидетельствует о том, что рациональное землепользование, ресурсосберегающие технологии, использование генетического ресурса растений и микроорганизмов обеспечит устойчивое развитие сельскохозяйственного производства и позволит смягчить климатическую повестку по парниковым газам. В исследованиях ученых Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН установлено, что пахотная дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва имеет высокий потенциал для секвестрации атмосферного углерода, его накопления и депонирования в почве. Выявлена высокая секвестрационная способность многолетних кормовых культур – козлятника восточного и левзеи сафлоровидной, длительное возделывание которых в выводных полях приводит к повышению органического углерода в пахотном слое на 10–15 % и его депонированию в глубинных горизонтах почвы.

Впервые в условиях Предуралья определено влияние длительного внесения органических и минеральных удобрений на таксономический состав бактериальных сообществ пахотной дерново-подзолистой почвы и проведено сравнение с целинным аналогом. По данным анализа микробных сообществ почвы, выявлено 17 филумов, состоящих из доменов *Archaea* (1 филум) и *Bacteria* (16 филумов). Показано, что анализ почвенного микробиома позволяет выделять различия в составе почвенных микроорганизмов в почвах разных типов землепользования. Выявлены микроорганизмы-индикаторы сельскохозяйственного использования почв, присутствующие только в пахотных почвах, что позволит в будущем управлять плодородием агросистем за счет регулирования качественного и количественного состава определенных таксономических групп микроорганизмов.

Перспективы в изучении органического вещества почв связаны с: раскрытием генетического потенциала почвенных микроорганизмов, участием микробиома в разложении растительных остатков и трансформации органического вещества в почве; подбором культур, обладающих повышенной секвестрационной способностью; разработкой новых

типов севооборотов, обеспечивающих сохранение и повышение органического углерода; применением новых видов органических и органоминеральных удобрений; внесением в почву органических биодобавок (биоуголь и др.), улучшающих структуру почвы и ее гумусное состояние; поиском путей управления процессами минерализации и гумификации ОВ в почве; выявлением взаимосвязей урожайности сельскохозяйственных культур со строением, составом и свойствами почвенного органического вещества.

Список литературы

1. Семенов В. М., Когут Б. М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.

2. Иванов А. Л., Когут Б. М., Семенов В. М., Тюрина Оберландер М., Ваксман Шанбахер Н. Развитие учения о гумусе и почвенном органическом веществе: от Тюрина и Ваксмана до наших дней. Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2017;(90):3–38. DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-90-3-38 EDN: ZTBWRZ

3. Соколов М. С., Спиридонов Ю. А., Торопова Е. Ю., Глинушкин А. П., Семенов А. М. Экологические и фитосанитарные функции почвенного органического вещества (Проблемно-аналитический обзор). Агрохимия. 2018;(5):79–96. DOI: https://doi.org/10.7868/S0002188118050113 EDN: XMZHRR

4. Кудеяров В. Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России. Агрохимия. 2019;(12):3–15. DOI: https://doi.org/10.1134/S000218811912007X EDN: NOXCDB

5. Семенов В. М., Тулина А. С. Сравнительная характеристика минерализуемого пула органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем. Агрохимия. 2011;(12):53–63. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=17289782 EDN: NCNLKN

6. Когут Б. М., Семенов В. М., Лукин С. М., Шарков И. Н. Способ определения показателей трансформируемого и инертного органического углерода в почвах: пат. № 2519149 Российская Федерация. №2012116412/15: заявл. 24.04.2012; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16. 6 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet

7. Мамонтов В. Г., Афанасьев Р. А., Соколовская Е. Л. Лабильные гумусовые вещества – особая группа органических соединений чернозема обыкновенного. Плодородие. 2018;(5):15–19. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=36286590 EDN: YLGLCP

8. Мамонтов В. Г., Родионова Л. П., Быковский Ф. Ф., Сирадж А. Лабильное органическое вещество почвы: Номенклатурная схема, методы изучения и агроэкологические функции. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2000;(4):93–108.

9. Мамонтов В. Г., Родионова Л. П., Бруевич О. М. Уровни содержания лабильных гумусовых веществ в пахотных почвах. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2009;(4):121–123. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=13102344 EDN: LASRRB

10.Ториков В. Е., Мельникова О. В., Сидорова Е. Ю., Мельников Д. М. Изменение плодородия серой лесной почвы в плодосменном севообороте. Агрохимический вестник. 2019;(2):6–9. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10018 EDN: WBDQQO

11. Русакова И. В. Изменение содержания общего и легкоразлагаемого органического вещества в дерново-подзолистой почве при длительном применении соломы. Агрохимия. 2022;(10):28–37. DOI: https://doi.org/10.31857/S000218812210009X EDN: XFECOG

12. Русакова И. В. Сравнительная оценка влияния традиционной и биологизированной систем земледелия на агрохимические, биологические свойства и биологическое качество органического вещества серой лесной почвы Владимирского ополья. Агрохимия. 2021;(12):15–22. DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188121120127 EDN: ZITEHY

13. Семенов В. М., Лебедева Т. Н., Паутова Н. Б. Дисперсное органическое вещество в необрабатываемых пахотных почвах. Почвоведение. 2019;(4):440–450. DOI: https://doi.org/10.1134/S0032180X19040130 EDN: ZADGWL

14. Семенов В. М., Лебедева Т. Н., Соколова Д. А., Зиняковаа Н. Б., Лопес де Гереню В. О., Семенов М. В. Измерение почвенных пулов органического углерода, выделенных био-физико-химическими способами фракционирования. Почвоведение. 2023;(9):1155–1172. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X23600427 EDN: FBYKIZ

15. Фокин А. Д. Устойчивость почв и наземных экосистем: Подходы к систематизации понятий и оценке. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 1995;(2):71–85.

16. Кершенс М. Значение содержания гумуса для плодородия почв и круговорота азота. Почвоведение. 1992;(10):122–131.

17. Кудеяров В. Н. Почвенное дыхание и секвестрация углерода (обзор). Почвоведение. 2023;(9):1011–1022. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X23990017 EDN: YUFLKS

18. Шарков И. Н., Антипина П. В. Некоторые аспекты углерод-секвестирующей способности пахотных почв. Почвы и окружающая среда. 2022;5(2):3. DOI: https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.175 EDN: LMWYAH

19. Глинушкин А. П., Соколов А. А. Роль гумуса почвы к адаптации агросферы к изменению климата земли. Успехи современной науки. 2017;2(9):15–19.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29905670 EDN: ZELBOT

20. Сычёв В. Г., Налиухин А. Н. Изучение потоков углерода и азота в длительных полевых опытах геосети с целью снижения выбросов парниковых газов и повышения депонирования диоксида углерода агроценозами. Плодородие. 2021;(6):38–41. DOI: https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.10 EDN: MALLBW

21. Завьялова Н. Е. Углеродпротекторная емкость дерново-подзолистой почвы естественных и агроэкосистем Предуралья. Почвоведение. 2022;(8):1046–1055. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X22080160 EDN: AOKTSG

22. Завьялова Н. Е., Фомин Д. С., Тетерлев И. С. Влияние севооборотов и бессменных посевов на агрохимические свойства и азотный режим дерново-подзолистой почвы Предуралья. Агрохимия. 2019;(1):5–10. DOI: https://doi.org/10.1134/S0002188119010162 EDN: YVTROH

23. Шульц Э., Кершенс М. Характеристика разлагаемой части органического вещества почв и ее трансформации при помощи экстракции горячей водой. Почвоведение. 1998;(7):890–894.

24. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: МГУ, 1990. 325 с.

25. Завьялова Н. Е., Шишков Д. Г. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур в длительном стационарном опыте в климатических условиях Предуралья. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2020;(5):5–17.
DOI: https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-5-5-17 EDN: FLTQEI

26. Baveye P. C., Wander M. The (Bio) Chemistry of Soil Humus and Humic Substances: Why Is the «New View» Still Considered Novel After More Than 80 Years? Frontiers in Environmental Science. 2019;7(27):1–6. DOI: https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00027

27. Kleber M., Sollins P., Sutton R. A conceptual model of organo-mineral interactions in soils: self-assembly of organic molecular fragments into zonal structures on mineral surfaces. Biogeochemistry 2007;85:9–24.
DOI: https://doi.org/10.1007/s10533-007-9103-5

28. Kleber M., Lehmann J. Humic Substances Extracted by Alkali Are Invalid Proxies for the Dynamics and Functions of Organic Matter in Terrestrial and Aquatic Ecosystems. Journal of Environmental Quality. 2019;48(2):207–216. DOI: https://doi.org/10.2134/jeq2019.01.0036

29. Mohinuzzaman M., Yuan J., Yang X., Senesi N., Li S.-L., Ellam R. M. et al. Insights into solubility of soil humic substances and their fluorescence characterisation in three characteristic soils. Science Total Environment. 2020;720:137395. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137395

30. Kholodov V. A., Farkhodov Yu. R., Yaroslavtseva N. V., Aydiev A. Yu., Lazarev V. I., Ilyin B. S. et al. Thermolabile and Thermostable Organic Matter of Chernozems under Different Land Uses. Eurasian Soil Science. 2020;53:1066–1078. DOI: https://doi.org/10.1134/S1064229320080086

31. Olk D. C., Bloom P. R., Perdue E. M., McKnight D. M., Chen Y., Farenhorst A. et al. Environmental and agricultural relevance of humic fractions extracted by alkali from soils and natural waters. Journal of Environmental Quality. 2019;48(2):217–232. DOI: https://doi.org/10.2134/jeq2019.02.0041

32. Гасанова Е. С., Мязин Н. Г., Стекольников К. Е. Изменение элементного состава гуминовых кислот чернозема, выщелоченного под влиянием удобрений и мелиоранта на примере культур топинамбура и озимой пшеницы. Агрохимия. 2018;(11);27–32. DOI: https://doi.org/10.1134/S0002188118110042 EDN: VMAWOU

33. Черников В. А. Изменение гумусовых соединений почвы в длительном стационарном опыте ТСХА. Плодородие. 2002;(4):34–36.

34. Старых С. Э., Куприянов А. Н., Белопухов С. Л., Мазиров М. А. Изучение влияния длительного применения удобрений на органическое вещество дерново-подзолистой почвы методом ИК-спектроскопии. Агрохимический вестник. 2019;(2):17–22. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-109999021 EDN: ZFALQT

35. Шевцова Л. К., Черников В. А., Сычев В. Г., Беличенко М. В., Рухович О. В., Иванова О. И. Влияние длительного применения удобрений на состав, свойства и структурные характеристики гумусовых кислот основных типов почв. Сообщение 1. Агрохимия. 2019;(10):3–15. DOI: https://doi.org/10.1134/S0002188119100120 EDN: UAPMMI

36. Lehmann J., Kleber M. The contentious nature of soil organic matter. Nature. 2015;528:60–68.
DOI: https://doi.org/10.1038/nature16069

37. Завьялова Н. Е., Васбиева М. Т., Фомин Д. С. Элементный состав и структура гуминовых кислот дерново-подзолистой почвы длительного стационарного опыта и ее целинных аналогов. Агрохимия. 2022;(9):15–25. DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188122090149 EDN: RVFDHY

38. Заварзин Г. А., Кудеяров В. Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России. Вестник Российской академии наук. 2006;76(1):14–24.

39. Приходько В. Е., Сиземская М. Л. Базальное дыхание и состав микробной биомассы целинных, агро-лесомелиорированных полупустынных почв Северного Прикаспия. Почвоведение. 2015;(8):974–983. DOI: https://doi.org/10.7868/S0032180X15080043 EDN: TZMCRJ

40. Жукова А. Д., Хомяков Д. М. Показатели микробного дыхания в почвенном покрове импактной зоны предприятия по производству минеральных удобрений. Почвоведение. 2015;(8):984–992. DOI: https://doi.org/10.7868/S0032180X15080122 EDN: TZMCRT

41. Полянская Л. М., Звягинцев Д. Г. Содержание и структура микробной биомассы как показатель экологического состояния почв. Почвоведение. 2005;(6):706–714.

42. Insam H., Domsch K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. Microbial Ecology. 1988;(15):177–188. DOI: https://doi.org/10.1007/BF02011711

43. Умаров М. М., Кураков А. В., Степанов А. Л. Микробиологическая трансформация азота в почве. М.: ГЕОС, 2007. 136 с.

44. Завьялова Н. Е., Васбиева М. Т., Фомин Д. С. Микробная биомасса, дыхательная активность и азотфиксация в дерново-подзолистой почве Предуралья при различном сельскохозяйственном использовании. Почвоведение. 2020;(3):372–378. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X20030120 EDN: COJSQZ

45. Когут Б. М., Семенов В. М., Артемьева З. С., Данченко Н. Н. Дегумусирование и почвенная секвестрация углерода. Агрохимия. 2021;(5):3–13. DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188121050070 EDN: SQOUYM

46. Кудеяров В. Н. Современное состояние углеродного баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России. Почвоведение. 2015;(9):1049–1060. DOI: https://doi.org/10.7868/S0032180X15090087 EDN: UDEUPR

47. Körschens M. Soil – Humus – Climate. Practically relevant results of 79 long-term field experiments. «Wahrnehmung und Bewertung von Bödenin der Gesellschaft». 2018. 12 p.

48. Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzyakov Y. Carbon cost of collective farming collaps in Russia. Global Change Biology. 2014;20(3):938–947. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.12379

49. Бойцова Л. В., Непримерова С. В., Зинчук Е. Г. Влияние различных систем удобрений на секвестрацию органического углерода в дерново-глеевой почве. Проблемы агрохимии и экологии. 2019;(4):15–20. DOI: https://doi.org/10.26178/AE.2019.28.73.003 EDN: EUPMKM

50. Hassink J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. Plant and Soil. 1997;191:77–87. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1004213929699

51. Six J., Conant R. T., Paul E. A., Paustian K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. Plant and Soil. 2002;241:155–176. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1016125726789

52. Завьялова Н. Е., Васбиева М. Т., Ямалтдинова В. Р., Казакова И. В. Аккумуляция атмосферного углерода культурами севооборота и влияние систем удобрения на накопление органического углерода пахотной дерново-подзолистой почвой. Агрохимия. 2023;(6):47–56. DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188123060121 EDN: QPEMYE

53. Завьялова Н. Е., Майсак Г. П., Казакова И. В. Иванова О. В. Фотосинтетическая и углерод секвестрирующая способность левзеи сафлоровидной и накопление органического углерода в дерново-подзолистой почве. Агрохимия. 2024;(7):48–56. DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188124070073 EDN: CFUKTU

54. Baldrian P. The known and the unknown in soil microbial ecology. FEMS Microbiology Ecology. 2019;95(2):fiz005. DOI: https://doi.org/10.1093/femsec/fiz005

55. Fierer N., Leff J. W., Adams B. J., Nielsen U. N., Bates S. T., Lauber C. L., et al. Cross-biome metagenomic analyses of soil microbial communities and their functional attributes. PNAS. 2012;109(52):21390–21395. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1215210110

56. Yang P., Yuan M., Qu C., Li J., Hua R., Zhao S. et al. Metagenomic insight into the soil microbial functions across land uses. Journal Soils Sediments. 2024;24:3684–3693. DOI: https://doi.org/10.1007/s11368-024-03918-3

57. Mendes L. W., Tsai S. M., Navarrete A. A., De Hollander M., van Veen J. A., Kuramae E. E. Soil-borne microbiome: linking diversity to function. Microbial Ecology. 2015;70:255–265. DOI: https://doi.org/10.1007/s00248-014-0559-2

58. Souza R. C., Hungria M., Cantao M. E., Vasconcelos A. T. R., Nogueira M. A., Vicente V. A. Metagenomic analysis reveals microbial functional redundancies and specificities in a soil under different tillage and crop-management regimes. Applied Soil Ecology. 2015;86:106–112. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.10.010

59. Will C., Thurmer A., Wollherr A., Nacke H., Herold N., Schrumpf M. et al. Horizon-specific bacterial community composition of German grassland soils, as revealed by pyrosequencing-based analysis of 16S rRNA genes. Applied and Environmental Microbiology. 2010;76(20):6751–6759. DOI: https://doi.org/10.1128/AEM.01063-10

60. Chen C., Zhang J., Lu M., Qin C., Chen Y., Yang L. et al. Microbial communities of an arable soil treated for 8 years with organic and inorganic fertilizers. Biology and Fertility of Soils. 2016;52(4):455–467. DOI: https://doi.org/10.1007/s00374-016-1089-5

61. Думова В. А., Першина Е. В., Мерзлякова Я. В., Круглов Ю. В., Андронов Е. Е. Основные тенденции в формировании почвенного микробного сообщества в условиях стационарного полевого опыта по данным высокопроизводительного секвенирования библиотек гена 16S-рРНК. Сельскохозяйственная биология. 2013;48(5):85–92. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20602097 EDN: RIVSTL

62. Hermans S. M., Buckley H. L., Case B. S., Curran-Cournane F., Taylor M., Lear G. Bacteria as emerging indicators of soil condition. Applied and environmental microbiology. 2017;83(1):e02826-16.
DOI: https://doi.org/10.1128/AEM.02826-16

References

1. Semenov V. M., Kogut B. M. Soil organic matter. Moscow: *GEOS*, 2015. 233 p.

2. Ivanov A. L., Kogut B. M., Semenov V. M., Turina Oberlander M., Waksman Schanbacher N. The Development of Theory on Humus and Soil Organic Matter: from Turin and Waksman to Present Days. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva* = Dokuchaev Soil Bulletin. 2017;(90):3–38. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-90-3-38

3. Sokolov M. S., Spiridonov Yu. A., Toropova E. Yu., Glinushkin A. P., Semenov A. M. Environmental and phytosanitary functions of soil organic matter (Problem-analytic review). *Agrokhimiya*. 2018;(5):79–96. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.7868/S0002188118050113

4. Kudeyarov V. N. The agrobiogeochemical cycles of carbon and nitrogen of Russian croplands. *Agrokhimiya*. 2019;(12):3–15. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.1134/S000218811912007X

5. Semenov V. M., Tulina A. S. Comparative characterization of the mineralizable organic matter pool in the soils of natural and agricultural ecosystems. *Agrokhimiya*. 2011;(12):53–63. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=17289782

6. Kogut B. M., Semenov V. M., Lukin S. M., Sharkov I. N. A method for determining the parameters of transformed and inert organic carbon in soils: Patent RF, no. 2519149, 2014.
URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet

7. Mamontov V. G., Afanasyev R. A., Sokolovskaya E. L. Labile humus substances – a special group of organic compounds of ordinary chernozem. *Plodorodie*. 2018;(5):15–19. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=36286590

8. Mamontov V. G., Rodionova L. P., Bykovskiy F. F., Siradzh A. Labile soil organic matter: Nomenclature scheme, methods of study and agroecological functions. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2000;(4):93–108. (In Russ.).

9. Mamontov V. G., Rodionova L. P., Bruevich O. M. Levels of content of labile humus substances in arable soils. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2009;(4):121–123. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=13102344

10. Torikov V. E., Melnikova O. V., Sidorova E. Yu., Melnikov D. M. Change of grey forest soil fertility in field crop rotation. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(2):6–9. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10018

11. Rusakova I. V. Change in the content of total and easily degradable organic matter in sod-podzolic soil with continuous application of straw. *Agrokhimiya.* 2022;(10):28–37. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31857/S000218812210009X

12. Rusakova I. V. Comparative evaluation of the effects of traditional and biologized arable systems on agrochemical and biological properties and biological quality of organic matter of gray forest soil in Vladimir opolye. *Agrokhimiya*. 2021;(12):15–22. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188121120127

13. Semenov V. M., Lebedeva T. N., Pautova N. B. Particulate organic matter in noncultivated and arable soils. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2019;(4):440–450. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.1134/S0032180X19040130

14. Semenov V. M., Lebedeva T. N., Sokolova D. A., Zinyakovaa N. B., Lopes de Gerenyu V. O., Semenov M. V. Measurement of the soil organic carbon pools isolated using bio-physical-chemical fractionation methods. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2023;(9):1155–1172. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X23600427

15. Fokin A. D. Sustainability of soils and ground ecosystems: Approaches to the systematization of concepts and assessment. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 1995;(2):71–85. (In Russ.).

16. Kershens M. The significance of humus for soil fertility and nitrogen cycle. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 1992;(10):122–131. (In Russ.).

17. Kudeyarov V. N. Soil respiration and carbon sequestration: a review. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2023;(9):1011–1022. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X23990017

18. Sharkov I. N., Antipina P. V. Some aspects of carbon sequestration capacity of arable soils. *Pochvy i okruzhayushchaya sreda* = The Journal of Soils and Environment. 2022;5(2):3. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.175

19. Glinushkin A. P., Sokolov A. A. Role of soil humus in the adaptation of agrosphere to land climate change. *Uspekhi sovremennoy nauki*. 2017;2(9):15–19. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29905670

20. Sychev V. G., Naliukhin A. N. Study of flows of carbon and nitrogen in long-term field experiments of the geoset with the purpose of reducing greenhouse gas emissions and increasing the deposition of carbon dioxide by agrocenoses. *Plodorodie*. 2021;(6):38–41. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.10

21. Zavyalova N. E. Carbon reserves and carbon protective capacity of sod-podzolic soil in natural and agricultural ecosystems of the Pre-Urals. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2022;(8):1046–1055. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X22080160

22. Zavyalova N. E., Fomin D. S., Teterlev I. S. Effect of crop rotations and monoculture on agrochemical propertiesand nitrogen regime of sod-podzolic soil of the Cis-Ural region. *Agrokhimiya*. 2019;(1):5–10. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.1134/S0002188119010162

23. Shults E., Kershens M. Characteristics of the degradable part of soil organic matter and its transformation by hot water extraction. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 1998;(7):890–894. (In Russ.).

24. Orlov D. S. Humus acids of soils and general theory of humification. Moscow: MGU, 1990. 325 p.

25. Zavyalova N. E., Shishkov D. G. Effect of mineral fertilizers on crop quality and yield in long-term stationary experiment in the climatic conditions of the Cis-Urals. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2020;(5):5–17. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-5-5-17

26. Baveye P. C., Wander M. The (Bio) Chemistry of Soil Humus and Humic Substances: Why Is the «New View» Still Considered Novel After More Than 80 Years? Frontiers in Environmental Science. 2019;7(27):1–6. DOI: https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00027

27. Kleber M., Sollins P., Sutton R. A conceptual model of organo-mineral interactions in soils: self-assembly of organic molecular fragments into zonal structures on mineral surfaces. Biogeochemistry 2007;85:9–24.
DOI: https://doi.org/10.1007/s10533-007-9103-5

28. Kleber M., Lehmann J. Humic Substances Extracted by Alkali Are Invalid Proxies for the Dynamics and Functions of Organic Matter in Terrestrial and Aquatic Ecosystems. Journal of Environmental Quality. 2019;48(2):207–216. DOI: https://doi.org/10.2134/jeq2019.01.0036

29. Mohinuzzaman M., Yuan J., Yang X., Senesi N., Li S.-L., Ellam R. M. et al. Insights into solubility of soil humic substances and their fluorescence characterisation in three characteristic soils. Science Total Environment. 2020;720:137395. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137395

30. Kholodov V. A., Farkhodov Yu. R., Yaroslavtseva N. V., Aydiev A. Yu., Lazarev V. I., Ilyin B. S. et al. Thermolabile and Thermostable Organic Matter of Chernozems under Different Land Uses. Eurasian Soil Science. 2020;53:1066–1078. DOI: https://doi.org/10.1134/S1064229320080086

31. Olk D. C., Bloom P. R., Perdue E. M., McKnight D. M., Chen Y., Farenhorst A. et al. Environmental and agricultural relevance of humic fractions extracted by alkali from soils and natural waters. Journal of Environmental Quality. 2019;48(2):217–232. DOI: https://doi.org/10.2134/jeq2019.02.0041

32. Gasanova E. S., Myazin N. G., Stekolnikov K. E. Change in elemental composition of humic acids of leached chernozem as affected by fertilizers and ameliorant for topinambour and winter wheat crops. *Agrokhimiya*. 2018;(11);27–32. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.1134/S0002188118110042

33. Chernikov V. A. Changes in humus compounds of soil in a long-term stationary experiment of the TACA. *Plodorodie*. 2002;(4):34–36. (In Russ.).

34. Starykh S. E., Kupriyanov A. N., Belopukhov S. L., Mazirov M. A. Studying the effect of long-term application of fertilizers on organic matter of soddy-podzolyc soil by the method of ir-spectroscopy. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(2):17–22. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-109999021

35. Shevtsova L. K., Chernikov V. A., Sychev V. G., Belichenko M. V., Rukhovich O. V., Ivanova O. I. Effect of long-term application of fertilizers on the composition, properties and structural characteristics of humic acids in main soil types. Report 1. *Agrokhimiya*. 2019;(10):3–15. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.1134/S0002188119100120

36. Lehmann J., Kleber M. The contentious nature of soil organic matter. Nature. 2015;528:60–68.
DOI: https://doi.org/10.1038/nature16069

37. Zavyalova N. E., Vasbieva M. T., Fomin D. S. Elemental composition and structure of humic acids in sod-podzolic soil of a long-term stationary experiment and its virgin anal. *Agrokhimiya*. 2022;(9):15–25. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188122090149

38. Zavarzin G. A., Kudeyarov V. N. Soil as the key source of carbonic acid and reservoir of organic carbon on the territory of Russia. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* = Herald of the Russian Academy of Sciences. 2006;76(1):14–24. (In Russ.).

39. Prikhod'ko V. E., Sizemskaya M. L. Basal respiration and composition of microbial biomass in virgin and agroforest-reclaimed semidesert soils of the Northern Caspian region. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2015;(8):974–983. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.7868/S0032180X15080043

40. Zhukova A. D., Khomyakov D. M. Parameters of microbial respiration in soils of the impact zone of a mineral fertilizer factory. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2015;(8):984–992. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.7868/S0032180X15080122

41. Polyanskaya L. M., Zvyagintsev D. G. The content and composition of microbial biomass as an index of the ecological status of soil. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2005;(6):706–714. (In Russ.).

42. Insam H., Domsch K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. Microbial Ecology. 1988;(15):177–188. DOI: https://doi.org/10.1007/BF02011711

43. Umarov M. M., Kurakov A. V., Stepanov A. L. Microbiological transformation of nitrogen in soil. Moscow: *GEOS*, 2007. 136 p.

44. Zavyalova N. E., Vasbieva M. T., Fomin D. S. Microbial biomass, respiratory activity and nitrogen fixation in soddy-podzolic soils of the Pre-Urals area under various agricultural uses. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2020;(3):372–378. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X20030120

45. Kogut B. M., Semenov V. M., Artemyeva Z. S., Danchenko N. N. Humus depletion and soil carbon sequestration. *Agrokhimiya*. 2021;(5):3–13. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188121050070

46. Kudeyarov V. N. Current state of the carbon budget and the capacity of Russian soils for carbon sequestration. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2015;(9):1049–1060. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.7868/S0032180X15090087

47. Körschens M. Soil – Humus – Climate. Practically relevant results of 79 long-term field experiments. «Wahrnehmung und Bewertung von Bödenin der Gesellschaft». 2018. 12 p.

48. Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzyakov Y. Carbon cost of collective farming collaps in Russia. Global Change Biology. 2014;20(3):938–947. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.12379

49. Boytsova L. V., Neprimerova S. V., Zinchuk E. G. The effect of various fertilizer systems on sequestration of organic carbon in soddy-gley soil. *Problemy agrokhimii i ekologii* = Problemy agrohimii i ekologii. 2019;(4):15–20. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26178/AE.2019.28.73.003

50. Hassink J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. Plant and Soil. 1997;191:77–87. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1004213929699

51. Six J., Conant R. T., Paul E. A., Paustian K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. Plant and Soil. 2002;241:155–176. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1016125726789

52. Zavyalova N. E., Vasbieva M. T., Yamaltdinova V. R., Kazakova I. V. Accumulation of atmospheric carbon by crop rotation crops and the effect of fertilizer systems on the accumulation of organic carbon by arable sod-podzolic soil. *Agrokhimiya*. 2023;(6):47–56. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188123060121

53. Zavyalova N. E., Maysak G. P., Kazakova I. V. Ivanova O. V. Photosynthetic and carbon sequestering ability of safflower leucea and accumulation of organic carbon in sod-podzolic soil. *Agrokhimiya*. 2024;(7):48–56. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188124070073

54. Baldrian P. The known and the unknown in soil microbial ecology. FEMS Microbiology Ecology. 2019;95(2):fiz005. DOI: https://doi.org/10.1093/femsec/fiz005

55. Fierer N., Leff J. W., Adams B. J., Nielsen U. N., Bates S. T., Lauber C. L., et al. Cross-biome metagenomic analyses of soil microbial communities and their functional attributes. PNAS. 2012;109(52):21390–21395. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1215210110

56. Yang P., Yuan M., Qu C., Li J., Hua R., Zhao S. et al. Metagenomic insight into the soil microbial functions across land uses. Journal Soils Sediments. 2024;24:3684–3693. DOI: https://doi.org/10.1007/s11368-024-03918-3

57. Mendes L. W., Tsai S. M., Navarrete A. A., De Hollander M., van Veen J. A., Kuramae E. E. Soil-borne microbiome: linking diversity to function. Microbial Ecology. 2015;70:255–265. DOI: https://doi.org/10.1007/s00248-014-0559-2

58. Souza R. C., Hungria M., Cantao M. E., Vasconcelos A. T. R., Nogueira M. A., Vicente V. A. Metagenomic analysis reveals microbial functional redundancies and specificities in a soil under different tillage and crop-management regimes. Applied Soil Ecology. 2015;86:106–112. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.10.010

59. Will C., Thurmer A., Wollherr A., Nacke H., Herold N., Schrumpf M. et al. Horizon-specific bacterial community composition of German grassland soils, as revealed by pyrosequencing-based analysis of 16S rRNA genes. Applied and Environmental Microbiology. 2010;76(20):6751–6759. DOI: https://doi.org/10.1128/AEM.01063-10

60. Chen C., Zhang J., Lu M., Qin C., Chen Y., Yang L. et al. Microbial communities of an arable soil treated for 8 years with organic and inorganic fertilizers. Biology and Fertility of Soils. 2016;52(4):455–467. DOI: https://doi.org/10.1007/s00374-016-1089-5

61. Dumova V. A., Pershina E. V., Merzlyakova Ya. V., Kruglov Yu. V., Andronov E. E. The main trends in dynamics of soil microbiom during a long-term field experiment as indicated by high throughput sequencing the 16S-rRNA gene libraries. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2013;48(5):85–92. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20602097

62. Hermans S. M., Buckley H. L., Case B. S., Curran-Cournane F., Taylor M., Lear G. Bacteria as emerging indicators of soil condition. Applied and environmental microbiology. 2017;83(1):e02826-16. DOI: https://doi.org/10.1128/AEM.02826-16

Сведения об авторах

✉ **Завьялова Нина Егоровна**, доктор биол. наук, главный научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, д. 12, улица Культуры, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4005-8998**, e-mail: nezavyalova@gmail.com

Ямалтдинова Венера Рафхатовна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, д. 12, улица Культуры, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2945-0585**

Шишков Данил Глебович, научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, д. 12, улица Культуры, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6869-9722**

Скрябина София Сергеевна, младший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, д. 12, улица Культуры, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8639-4060**

Казакова Инна Владимировна, младший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, д. 12, улица Культуры, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0009-5962-2967**

Information about the authors

✉ **Nina E. Zavyalova,** DSc in Biological Science, chief researcher, Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Region, Russian Federation, 12, Kultury Street, Lobanovo village, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4005-8998**, e-mail: nezavyalova@gmail.com

Venera R. Yamaltdinova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Region, Russian Federation, 12, Kultury Street, Lobanovo village, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2945-0585**

Danil G. Shishkov, researcher, Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Region, Russian Federation, 12, Kultury Street, Lobanovo village, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6869-9722**

Sofia S. Scryabina, junior researcher, Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Region, Russian Federation, 12, Kultury Street, Lobanovo village, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8639-4060**

Inna V. Kazakova, junior researcher, Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Region, Russian Federation, 12, Kultury Street, Lobanovo village, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0009-5962-2967**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.499–518
УДК 636.01

(cc) BY

История формирования сибирского чёрно-пёстрого голштинизированного скота (обзор)

© 2025. К. С. Шатохин[1]✉, К. Н. Нарожных[1], А. Ф. Петров[1], М. А. Чечушкова[1], В. М. Норкина[1], О. В. Ефремова[2], Е. В. Камалдинов[1]
[1]*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», г. Новосибирск, Российская Федерация,*
[2]*ЗАО «Племзавод Ирмень», Новосибирская область, Российская Федерация*

Проведено изучение формообразования сибирского чёрно-пёстрого голштинизированного скота. Предмет исследования – история происхождения и доместикации предковых форм сибирского чёрно-пёстрого голштинизированного скота, а именно голштинской, советской чёрно-пёстрой пород, коренного скота Сибири и западных регионов России. Показано, что скот на западе России вероятнее всего произошёл от дикого тура (Bos primigenius), обитавшего в Северной Африке либо на Ближнем Востоке. Однако некоторые записи указывают на интродукцию генов со стороны дикого зубра (Bison bonasus). Голштинская порода произошла от европейского дикого тура (Bos primigenius), но эволюционировала без притока генов со стороны российского скота. В свою очередь, начиная с XVIII века русский скот периодически улучшали производителями фризской, голландской, а потом и голштинской пород. Происхождение коренного сибирского скота до сих пор является предметом обсуждений. Согласно одной из гипотез, коренной сибирский скот является потомком дикого тура (Bos primigenius), который был одомашнен в Северной Африке и попал на территорию Сибири вместе с миграцией человеческих племён. Другая теория относит коренной сибирский скот к так называемой турано-монгольской группе, происхождение которой также вызывает вопросы. В геноме современных представителей турано-монгольского скота обнаружены гаплотипы, свойственные дикому туру (Bos primigenius), зебу (Bos indicus), а также маркёры, не свойственные ни одному из этих видов. Это может указывать как на происхождение турано-монгольского скота от отдельного дикого предка, так и на интродукцию от яка (Bos mutus) или другого вида быков. Таким образом, генофонд сибирского чёрно-пёстрого скота представляет собой уникальный генетический резерв, сочетающий в себе приспособительные качества местного скота и высокий потенциал молочной продуктивности, унаследованный от голштинской породы.

Ключевые слова: *голштинская порода, турано-монгольский скот, филогенез, доместикация, сельское хозяйство*

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Минобрнауки в рамках Государственного задания, проект: «Разработка прикладного программного обеспечения для проведения экстерьерной оценки животных с интеллектуальным контролем и анализом данных» (тема № FESF-2023-0016).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шатохин К. С., Нарожных К. Н., Петров А. Ф., Чечушкова М. А., Норкина В. М., Ефремова О. В., Камалдинов Е. В. История формирования сибирского чёрно-пёстрого голштинизированного скота (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):499–518. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.499-518

Поступила: 24.02.2025 Принята к публикации: 26.05.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

The history of the formation of Siberian black-and-white Holstein cattle (review)

© 2025. Kirill S. Shatokhin[1]✉, Kirill N. Narozhnykh[1], Alexey F. Petrov[1], Marina A. Chechushkova[1], Violetta M. Norkina[1], Olga V. Efremova[2], Evgueny V. Kamaldinov[1]
[1]*Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russian Federation,*
[2]*CJSC "Plemzavod Irmen", Novosibirsk region, Russian Federation*

The development of Siberian black-and-white Holstein cattle has been studied. The subject of the study was the history of the origin and domestication of the ancestral forms of Siberian black-and-white Holstein cattle, namely the Holstein, Soviet black-and-white breeds, indigenous cattle of Siberia and the western regions of Russia. It has been shown that cattle in western Russia most likely originated from wild auroch (Bos primigenius) that lived in North Africa or the Middle East. However, some records indicate the introduction of genes from the wild wisent (Bison bonasus). The Holstein breed originated from the European wild aurochs (Bos primigenius), but evolved without the influx of genes from Russian cattle. In turn, since the 18th century, Russian cattle have been periodically improved by producers of Frisian, Dutch, and then Holstein breeds. The origin of indigenous Siberian cattle is still a matter of debate. According to one hypothesis, the indigenous Siberian cattle are descendants of the wild aurochs (Bos primigenius), which was domesticated in North Africa and entered Siberia along with the migration of human tribes. Another theory attributes the indigenous Siberian cattle to the so-called Turano-Mongolian group, the origin of which also raises questions. In the genome of modern representatives of Turano-Mongolian

cattle, haplotypes peculiar to wild aurochs (Bos primigenius), zebu (Bos indicus), as well as markers not peculiar to any of these species were found. This may indicate the origin of Turano-Mongolian cattle from a separate wild ancestor, as well as the introduction of yak (Bos mutus) or another type of bull. Thus, the gene pool of Siberian black-and-white cattle is a unique genetic reserve that combines the adaptive qualities of local cattle and the high potential of dairy productivity inherited from the Holstein breed.

Keywords: *Holstein breed, Turano-Mongolian cattle phylogeny, domestication, agriculture*

Acknowledgements: the research was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment, the project: «Development of application software for the external assessment of animals with intelligent control and data analysis» (theme No. FESF-2023-0016)

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

Conflict of interest. The authors declared no conflict of interest.

For citation: Shatokhin K. S., Narozhnykh K. N., Petrov A.F., Chechushkova M. A., Norkina V. M., Efremova O. V., Kamaldinov E. V. The history of the formation of Siberian black and white Holstein cattle (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):499–518. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.499-518

Received: 24.02.2025 Accepted for publication: 26.05.2025 Published online: 30.06.2025

Происхождение популяций сельскохозяйственных животных само по себе представляет немалый научный интерес [1]. Для практической селекции филогенетические взаимоотношения важны для понимания степени родства между животными внутри одной породы из разных географических локаций как инструмент предварительного анализа при подборе родительских пар [2, 3]. Учитывая коэффициент инбридинга внутри голштинской породы молочного скота [4], поиск генеалогически удалённых животных интересен для нахождения вариантов подбора, подразумевающих снижение инбредности с минимальными рисками потери продуктивности. В ретроспективном значении важно понимать, что было исходным материалом для разведения и какими продуктивными и генетическими характеристиками обладает популяция на момент исследования [5].

Сибирский чёрно-пёстрый скот имеет различную кровность по голштинской породе. В записях зоотехнического учёта такие животные фигурируют, как чёрно-пёстрая, голштинская чёрно-пёстрая породы, ирменский, приобский типы и т. д. Средняя молочная продуктивность чёрно-пёстрого голштинизированного скота по Новосибирской области приближается к 10 000 кг на фуражную корову [6], что сопоставимо с хозяйствами из западной части России. Удой отдельных рекордисток составляет 12 000 кг за 305 дней лактации и более [7].

Формирование генофонда сибирского скота началось задолго до появления современных пород. По одной из гипотез [8], коренной сибирский скот является частью массива, так называемого турано-монгольского скота, на эволюцию которого предположительно оказала влияние интродукция от других видов диких быков, таких как дикий предок зебу (*Bos nomadicus*) и дикий як (*Bos mutus*). Позднее коренной сибирский скот неоднократно скрещивался с молочными породами, произошедшими от ближневосточного подвида дикого тура (*Bos primigenius*) [9].

Сибирский чёрно-пёстрый голштинизированный скот, адаптированный к суровым климатическим условиям региона, представляет собой ценный генетический ресурс для отечественного молочного скотоводства. Его происхождение – результат сложного взаимодействия местных сибирских пород, российского чёрно-пёстрого скота и голштинской породы [10, 11, 12].

Цель работы – ретроспективный анализ филогенеза сибирского чёрно-пёстрого голштинизированного скота с акцентом на выяснение вклада каждой из предковых пород в формирование его современного генофонда. По возможности приводили продуктивные характеристики каждой из предковых форм. В работе рассмотрены этапы доместикации предковых форм, история разведения и голштинизации скота, а также влияние климатических условий и методов селекции на адаптивные и продуктивные качества породы. Предполагается, что генетическое разнообразие сибирского чёрно-пёстрого голштинизированного скота отражает как исторические процессы миграции и скрещивания пород, так и адаптацию к специфическим условиям сибирского региона.

Материал и методы. Поиск источников проводили путем скрининга библиографических баз данных и научных электронных библиотек с поисковыми системами: Web of Science, Scopus, eLIBRARY.RU, Cyberleninka,

Springer, Pubmed, Google Scholar. Ключевыми словами для поиска служили: история разведения голштинской породы; выведение чёрно-пёстрой породы; сибирский скот; тураномонгольский скот; доместикация скота и т. д. Для формирования списка используемой литературы прибегали к помощи библиографического помощника Zotero.

К большому сожалению, в современной научной литературе часто возникает путаница в биологической номенклатуре представителей подсемейства бычьих. В настоящей работе названия домашних и диких быков приведены согласно классификации, предложенной в Кембриджском университете [13], представленной в таблице 1.

Таблица 1 – **Названия видов домашних и диких быков /**
Table 1 – **Names of domestic and wild bull species**

Латинское название / Latin name	*Русское название / Russian name*	*Описание / Description*
Bos taurus	Тауриновые породы крупного рогатого скота / Taurine breeds of cattle	Породы безгорбого домашнего скота, произошедшие от дикого предка, одомашненного на Ближнем Востоке и в Северной Африке / Humpless livestock breeds descended from a wild ancestor domesticated in the Middle East and North Africa
Bos primigenius	Дикий тур / Wild auroch	Дикий тур, обитавший в Евразии и Северной Африке / Aurochs who lived in Eurasia and North Africa
Bos indicus	Зебувидный (индициновый) скот, зебу / Zebu (indicine) cattle	Породы горбатого домашнего скота, произошедшие от дикого предка, одомашненного в Индии / Humpback cattle breeds descended from a wild ancestor domesticated in India
Bos nomadicus	Дикий тур / Wild auroch	Дикий тур, обитавший в Южной Азии, предок современного зебувидного скота / Wild auroch who lived in South Asia, the ancestor of modern zebu cattle
Bos mutus	Як / Yak	Дикий и домашний як / Wild and domestic yak
Bison bonasus	Дикий зубр (европейский бизон) / Wild wisent (European bison)	Дикий зубр, обитающий в Европе / Wild wisent found in Europe
Bison bison	Дикий американский бизон / Wild American bison	Дикий бизон (лесной и степной), обитающий в Северной Америке / Wild bison (forest and steppe) found in North America

Основная часть. 1. *Гипотезы о возможном происхождении сибирского чёрно-пёстрого голштинизированного скота.* Согласно популярной теории, большинство современных тауриновых пород крупного рогатого скота являются потомками подвида дикого тура (*Bos primigenius*), одомашненного на территории Юго-Западной Азии [14, 15, 16] и возможно Северной Африки [17, 18, 19]. Впоследствии первично доместицированный скот распространился по Европе, Средней Азии и Сибири [20, 21, 22].

Общая схема происхождения современного сибирского чёрно-пёстрого голштинизированного скота весьма сложная и неоднозначная (рис. 1). В целом, её можно описать так. Коренной скот с начала освоения Сибири русскими смешивался с животными из европейской части России, которые в свою очередь представлены коренным скотом Российской империи. На разных этапах разведения местных животных улучшали быками голландской и фризской пород. С 60-х годов XX века помесные животные подверглись массовой голштинизации. Коренной скот европейской части России и животные завозных пород являются представителями, так называемой тауриновой группы (рис. 1). Происхождение коренного сибирского скота до конца неизвестно. По одной версии [8, 23], местный сибирский скот принадлежит к тауриновой группе, по другой – к турано-монгольскому скоту [24, 25, 26].

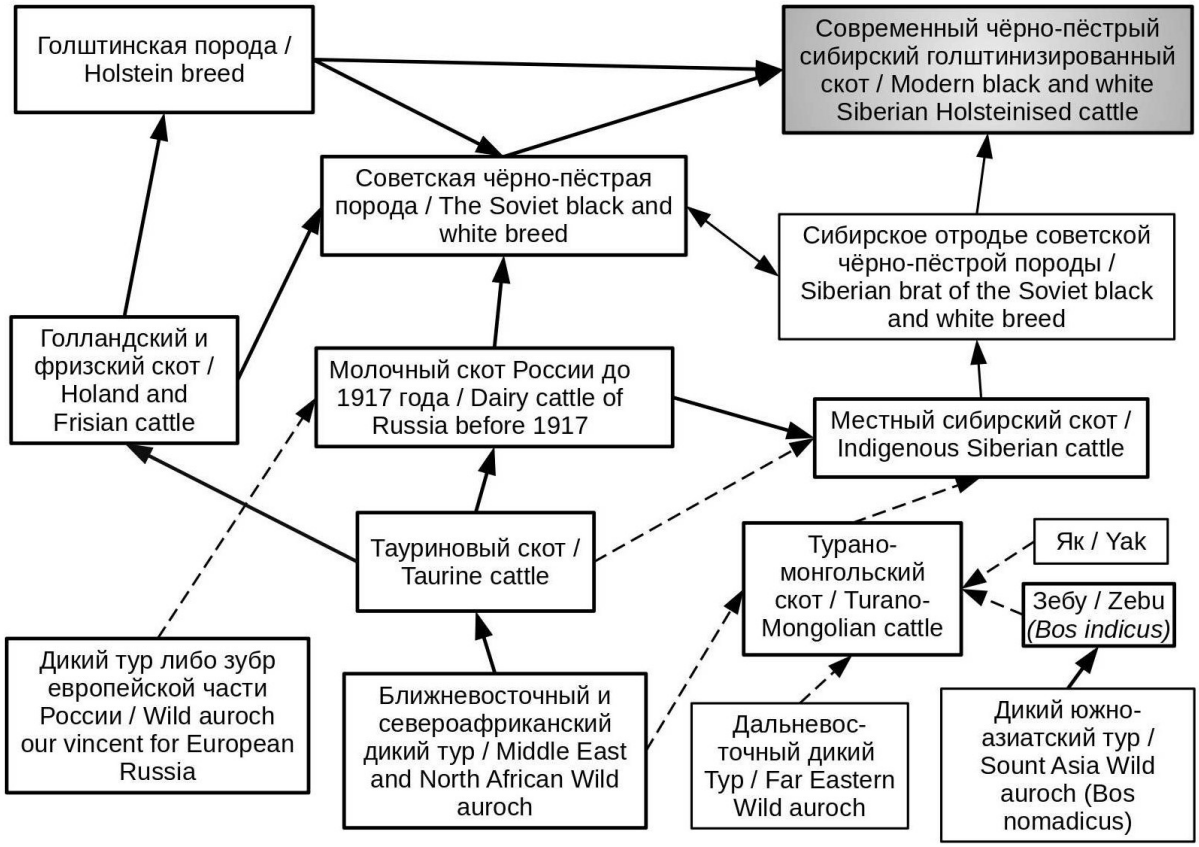


Рис. 1. **Происхождение сибирского чёрно-пёстрого голштинизированного скота. Сплошные линии – подтверждённый поток генов, пунктирные – вероятный поток генов /**

Fig. 1. **The origin of Siberian black-and-white Holstein cattle. Solid lines represent confirmed gene flow, dotted lines represent probable gene flow**

2. *Гипотеза о происхождении коренного сибирского скота от отдельного дикого предка.* Некоторые авторы [24, 25, 27] причисляют коренной сибирский скот к турано-монгольской группе, имеющей весьма неоднозначное происхождение. Имеются данные, указывающие на то, что турано-монгольский скот образовался в результате скрещивания тауринового и индицинового скота [28, 29, 30, 31]. Ряд авторов выделяют турано-монгольский скот в самостоятельную группу пород, чьё отличие от тауринового и индицинового скота показано с помощью кластерного анализа, базирующегося на результатах генотипирования [9, 32, 33]. Изучение митохондриального генома современных пород скота турано-монгольского корня выявили наличие характерных для тауринового скота гаплогрупп T, T1, T2 и T3, а также гаплогруппу I [29, 34], которая является отличительной особенностью зебу (*Bos indicus*). В геноме якутского скота была обнаружена уникальная митохондриальная гаплогруппа T4 [9, 29]. Сам факт наличия уникальной гаплогруппы означает, что либо она была утрачена у тауринового и индицинового скота, но сохранилась у животных турано-монгольского корня, либо независимую доместикацию турано-монгольского скота, или «прилитие крови» от другого вида диких быков. Все три гипотезы имеют право на существование.

Первые признаки скотоводства на территории Сибири датируются V-III вв. до н. э. Палеонтологические исследования показали обитание на территории Западной Сибири разновидности тура (*Bos primigenius*), однако его вклад в генофонд современного крупного рогатого скота маловероятен [9]. Имеется предположение, что турано-монгольский скот произошёл от дикого предка, одомашненного на северо-востоке Китая [35], хотя эта гипотеза оспаривается [36]. В пользу гипотезы происхождения турано-монгольского скота от дальневосточного дикого тура свидетельствует обнаружение у ряда пород Японии, Китая и Кореи уникальной гаплогруппы P митохондриальной ДНК [37]. Также в геноме турано-

монгольского скота обнаружены уникальные гены, позволяющие адаптироваться к экстремально низким температурам окружающей среды [9, 38].

Существуют сведения о том, что туранномонгольский скот на разных этапах своего существования скрещивался с зебу (*Bos indius*) и яками (*Bos mutus*). Было показано, что киргизский скот, являющийся одним из возможных предков современного сибирского скота, скрещивался с зебу (*Bos indius*) [8, 39], который произошёл от самостоятельного подвида дикого тура (*Bos nomadicus*). В ходе изучения митохондриальных и Y-хромосомных маркёров подтвердилось родство нескольких туранномонгольских пород с зебу [40, 41]. Исследования некоторых авторов показывают вероятное родство турано-монгольского скота с яком из-за частичной трансгрессии ареалов. Однако при кластеризации на основании молекулярно-генетических исследований як был выделен в отдельную кладу относительно трёх пород турано-монгольского скота: якутского, монгольского и калмыцкого [32].

3. *Гипотеза об обогащении генофонда коренного российского скота за счёт скрещивания с зубром.* Существует вероятность интродукции генов от некого «лесного быка» в некоторые популяции местного российского скота [42]. Термин «лесной бык» изначально возможно было присвоить двум видам диких представителей семейства полорогих, а именно зубру и дикому туру. С туром возникают сложности. Их малочисленная популяция обитала в окрестностях Варшавы, а последние записи о живом экземпляре датируются 1627 годом [43]. Появление плодовитого потомства от скрещивания зубра с крупным рогатым скотом показано в ряде работ по гибридизации животных [44, 45]. В США была создана порода буффало с использованием скрещиваний с бизонами (*Bison bison*) [46], ближайшими родственниками зубра (*Bison bonasus*). Следов митохондриального генома зубра не обнаружилось у представителей голштинской и симментальской пород [47]. Однако существует мнение, что признаков родства популяций скота с зубром практически невозможно выявить при изучении митохондриального генома. Зато следы интродукции генома зубра в генофонд крупного рогатого скота обнаруживаются в процессе генотипирования Y-хромосомных локусов. Так, например, были обнаружены признаки «прилития крови» зубра в некоторые британские и ирландские примитивные породы [18]. Учитывая, что результатов сравнительного анализа Y-хромосомных локусов российского скота и зубра в литературе не обнаружено, тем самым «лесным быком» с бóльшей долей вероятности мог оказаться европейский лесной зубр.

Обнаружение в геноме крупного рогатого скота Y-хромосомных мутаций, свойственных зубру, и отсутствие свидетельств наличия митохондриальных маркёров вполне объяснимо. Y-хромосома передаётся исключительно от отца к сыну. Если учесть, что пастбищное содержание скота до сих пор имеет место в некоторых регионах, не исключено, что самцы дикого зубра осеменяли коров на выпасах, а родившихся от таких скрещиваний бычков могли оставить для воспроизводства. В то же время весьма маловероятным представляется отлов, содержание самки дикого зубра и её осеменение домашним быком с целью получения молока.

4. *История разведения голштинской породы в Европе и США.* Предками современной голштинской породы скота являются две независимые группы скота, сформировавшиеся около 2 000 лет назад на территории современных Северной Голландии и Фрисландии (первая группа) и Германии (вторая группа). В результате их скрещивания образовался массив скота, известный под названием голштино-фризский, а затем и просто голштинский. Голштинский скот был обособлен в самостоятельную породу около 150 лет назад [48, 49]. Официальная регистрация голштинской породы в качестве селекционного достижения состоялась в 1883–1885 гг. в США [50, 51]. В результате были получены животные с высокой молочной продуктивностью, которой можно было добиться даже в условиях ограниченного кормления. Фризский скот все еще существует сегодня на территории Великобритании, Новой Зеландии и Голландии, но отличается от голштинской породы по ряду признаков, в частности – меньшими размерами[1].

[1]Elischer M. History of dairy cow breeds: Holstein. 2014. [Электронный ресурс]. URL: https://www.canr.msu.edu/news/history_of_dairy_cow_breeds_holstein (дата обращения: 27.01.2025).

Современные представители голштинской породы характеризуются как крупные, гармонично сложенные животные черно-пёстрой или красно-пёстрой масти. Взрослая голштинская корова весит около 600–700 кг [52], бык ≈ 900–1000 кг[2]. Тёлок голштинской породы обычно осеменяют в возрасте 13 месяцев при достижении живой массы 400 кг [53]. Желательный возраст первого отёла от 23 до 26 месяцев, стельность ≈ 9 мес. Средняя продолжительность жизни голштинских коров составляет 3,0–4,5 года, что связано с высокой интенсивностью использования и сопутствующими морфофизиологическими нарушениями [54, 55]. Максимальная продолжительность доходит до 20 лет [56]. Суточный удой коров в некоторых хозяйствах США, одной из ведущих стран по молочному скотоводству, составляет 30–40 кг, что в пересчёте на 305 дней лактации составляет 9–12 тыс. кг [57].

Благодаря целенаправленной селекции по удою коровы голштинской породы обладают преимуществом перед животными других пород в плане реализации генетического потенциала по признаку обильномолочности[3]. Однако голштины менее устойчивы к жаре и болезням по сравнению с аборигеными породами. Данный недостаток исправляется скрещиванием с породами зебувидного и креольского скота [58]. Голштинская порода подходит для низкозатратных систем животноводства, что показано на примере Новой Зеландии и частично Австралии, где молочное скотоводство ориентировано на круглогодичный выпас при минимальных затратах на производство 1 кг молока [59, 60, 61]. Происхождение большинства племенных голштинов можно проследить до животных, первоначально импортированных из Нидерландов в США. До настоящего момента сохранились записи о быках-производителях, внёсших наиболее существенный вклад в совершенствование голштинского скота США конца XIX – начала XX веков [48].

5. *История разведения и голштинизации российского молочного скота.* Известно, что современный российский чёрно-пёстрый и голштинский скот представляет собой помесь местного маточного поголовья, многократно «перекрытого» быками голштинской породы[4]. Причём происхождение российского скота, который участвовал в скрещиваниях с голштинскими быками, вызывает множество вопросов. Известно, что скот был разнородным, имеющим черты более одного независимо доместицированного подвида дикого предка, либо от нескольких долгое время независимо эволюционировавших популяций.

В царской России разведение крупного рогатого скота в большинстве случаев имело бессистемный характер [8]. Зачатки племенного скотоводства наблюдались очагово и были сосредоточены в основном в помещичьих усадьбах[5] [62]. С 1870-х годов зарождаются специализированные предприятия по производству молока [63]. Подразделение на породы было условным, а генеалогическая структура поголовья была настолько сложной, что для её изучения в 1883 г. организовали научную экспедицию под руководством А. Ф. Миддендорфа, куда вошли А. А. Армфельт, А. А. Калантар, Ф. М. Снегирев, Н. П. Червинский и другие[6]. Однако даже при таком подходе на рубеже XVIII–XIX вв. наблюдалась дифференциация на молочные, мясные и рабочие породы [64, 65, 66]. В отдельных работах [64] присутствует описание как минимум 11 молочных пород, среди которых представлена и голландская (рис. 2).

Экстерьер голландской породы был схож с обликом более современной чёрно-пёстрой. Существовала классификация пород крупного рогатого скота по мастям, в которой выделяли чёрный, белый и красный скот [62].

[2]Holstein Association USA. Holstein Breed Characteristics. [Электронный ресурс]. URL: https://www.holsteinusa.com/holstein_breed/breedhistory.html (дата обращения: 27.01.2025).
[3]The Cattle site. Holstein. History. 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://www.thecattlesite.com/breeds/dairy/22/holstein (дата обращения: 03.02.2025).
[4]Эрнст Л. К., Дмитриев Н. Г., Паронян И. А. Генетические ресурсы сельскохозяйственных животных в России и сопредельных странах: справочник. СПб: ВНИИГРЖ, 1994. 247 с. URL: http://www.cnshb.ru/AKDiL/0044/default.shtm
[5]Мадисон В. «Племя России»: Селекция в Российской Империи. Milknews: новости и аналитика молочного рынка. 2016. [Электронный ресурс]. URL: https://milknews.ru/longridy/longridy_16124.html (дата обращения: 05.02.2025).
[6]Скот рогатый крупный. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. 2020. С. 260–265. [Электронный ресурс]. URL: https://gufo.me/dict/brockhaus/Скот_рогатый_крупный (дата обращения: 05.02.2025).

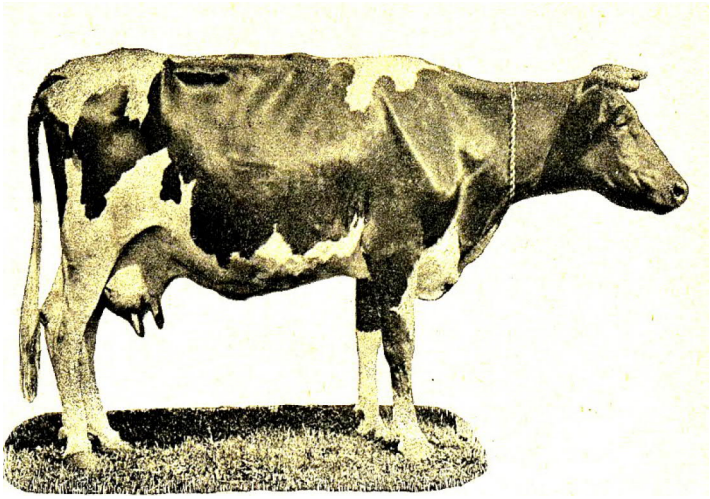


Рис. 2. **Корова голландской породы [66] /**
Fig. 2. **Holland cow [66]**

Местные породы скота были выведены без использования специально продуманных схем разведения. Основным вектором отбора были приспособленность к местным условиям и способность давать продуктивность в условиях ограниченного кормления. Имел место завоз в Россию импортного скота, причём улучшенный скот содержался как в крестьянских, так и в помещичьих хозяйствах. Например, голландский скот начали завозить ещё в XVII-XVIII веках[7, 8] [67]. Сообщается о массовом завозе голландского скота на территорию Российской империи в конце XIX века[9].

На основе скрещиваний завезённого в XVIII-XIX вв. голландского скота с местным создавались такие породы, как холмогорская и ярославская. Существовало мнение, что массовый ввоз племенных животных из-за рубежа не имеет существенного значения в разведении, т. к. импортный скот был более склонен к болезням, нежели аборигенный [68]. Не исключено, что при улучшении отечественного молочного скота в XIX веке участвовали животные голштинской породы [68]. Особенное внимание обратили на себя коровы помещика села Бессоново Смоленской губернии Д. А. Путяты, который только путем умелого подбора производителей и хорошего содержания сформировал у себя стадо более 200 голов. По описанию в стаде имелись признаки улучшения тирольской, голландской и голштинской пород. Улучшенные таким путем коровы давали в течение года от 180 до 400 ведер молока [65, 66]. Часть полученного от чёрно-пёстрого скота молока перерабатывали в топлёное масло, которое затем отправлялось на экспорт в Европу [63]. Несмотря на приток генов со стороны родственной по отношению к голштинам голландской породы, современные российские породы скота сохранили относительную генетическую идентичность по отношению к голштинам [69]. Генофонд российского чёрно-пёстрого скота главным образом представлен фрагментами, унаследованными от голштино-фризской и других европейских молочных пород, что объясняется отбором по молочной продуктивности на стадии породообразования. Однако были обнаружены немногочисленные фрагменты генома, свойственные коренному русскому скоту [1].

Собственно чёрно-пёстрая порода была образована скрещиванием разнородного массива местного российского скота, среди которого весьма вероятным было присутствие животных, имеющих в своей родословной представителей голландского, остфризского и чёрно-пёстрого шведского скота, что отразилось на экстерьере животных. В качестве плановой породы черно-пестрый скот был признан в 1925 г. В связи с этим в 1930–1940 гг. были завезены животные из Германии, Голландии, Дании, Эстонии, Литвы и направлены в разные регионы страны. В них образовался и разводился самостоятельно ряд отродий – голландское, остфризское, шведское, ольденбургское, сибирское и другие. Импортные быки оказали улучшающее влияние на молочную продуктивность, оплату корма, мясные качества черно-пестрой породы. В 1959 г. все отродья были объединены в черно-пеструю породу, утвержденную официально.

[7]Всеволодов В. И. Курс скотоводства. Т. 1. СПб., 1836. 568 с.
[8]Арзуманян Е. А, Бегучев А. П., Соловьев А. А., Фандеев Б. В. Скотоводство. М: Колос, 1970. 334 с.
[9]Мадисон В. Указ. соч.

В 1957–1965 гг. в СССР было завезено 5 тыс. животных голландской породы, что, по-видимому, оказало существенное влияние на формирование экстерьера коров (рис. 3)[10] [70].

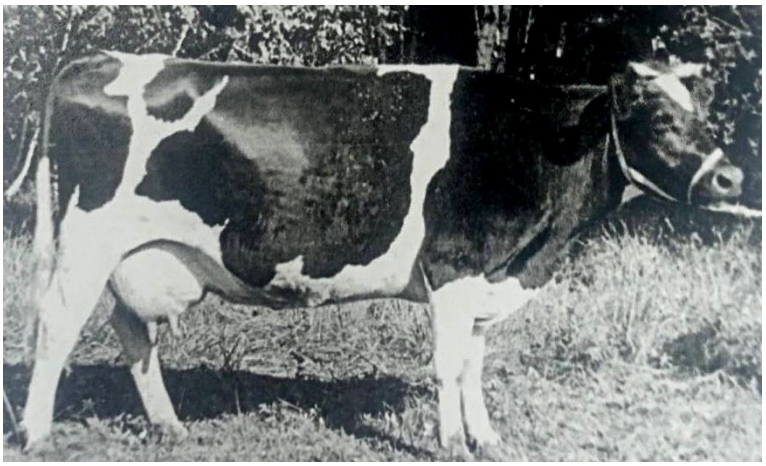


Рис. 3. **Корова Оса советской чёрно-пёстрой породы [12] /**
Fig. 3. **Cow Osa of the Soviet black-and-white breed [12]**

Продуктивность быкопроизводящих коров составляла 6,0–7,0 тыс. кг молока жирностью 4,4–4,6 % [70]. С 1978 г. из США и с 2003 г. из Голландии постоянно импортировали сперму и быков голштинской породы[11] [68, 71]. Разведение в себе с закольцовыванием на лучших голштинских производителей легло в основу консолидации чёрно-пёстрого голштинизированного скота.

6. *Разведение сибирского скота в дореволюционной России и советский период.* Сибирский скот до начала XX века представлял собой гетерогенную группу животных, сформировавшуюся под влиянием естественного отбора и бессистемных скрещиваний с привозными породами. Климатические условия Сибири с их резкими перепадами температур, продолжительными зимами и ограниченной кормовой базой способствовали формированию у местного скота таких признаков, как высокая морозоустойчивость, неприхотливость к кормам и выносливость. Исследования родственного сибирскому якутского скота выявили некоторые аллели, отвечающие за морозостойкость [9].

После начала присоединения территории Сибири к Российской империи часть русских поселенцев перегоняло вместе с собой скот из европейской части страны. То есть не исключён приток генов российского скота в генофонд сибирского. Однако завезённый скот плохо адаптировался к сибирским условиям, поэтому большинство крестьян отдавали предпочтение аборигенному скоту. Вплоть до 1920-х годов в Сибири практически не применяли систематического отбора. Главным критерием была приспособленность к условиям содержания [72].

Указания на наличие породной дифференциации внутри массива сибирского скота достаточно неоднозначные. Одни авторы считают весь массив сибирского скота беспородной структурой [72]. По другим данным, сибирский скот был представлен двумя отдельными породами: сибирской и киргизской. Также существует мнение о наличии на территории Сибири целого ряда аборигенных пород, которые по состоянию на начало XX в. находились в стадии обособления в одну самостоятельную породу [73].

Сохранившиеся записи о выставке скота в 1911 году показывают, что помимо местного скота в Сибири разводили холмогорскую, голландскую, швицкую, симментальскую породы, тавдинское отродье великорусского скота, а также помеси различной кровности с аборигенным скотом [74, 75]. Переселенцы из Голландии и Германии, прибывшие на рубеже XIX-XX вв., привозили с собой представителей красных немецких пород и в небольших количествах – животных остфризской породы. Быков-производителей использовали для улучшения местного маточного поголовья [76].

[10]Арзуманян Е. А, Бегучев А. П., Соловьев А. А., Фандеев Б. В. Указ. соч.
[11]Эрнст Л. К., Дмитриев Н. Г., Паронян И. А. Указ. соч.

Живая масса коров сибирской породы составляла 250–350 кг, средняя продуктивность – 950 кг молока за лактацию при жирности 4,7–6,6 %. Лучшие аборигенные коровы давали до 3500 кг молока в год. Отмечается, что местный скот не уступал по молочной продуктивности импортированному из западных регионов [74, 75]. Полученное от сибирских коров молоко главным образом шло на переработку масла. Экспорт сибирского масла обеспечивал наибольшую статью дохода от сельского хозяйства и охотничьих промыслов (40,9 %) региона по состоянию на 1913 год. По валовому производству масла Сибирь занимала второе место в мире, уступая лишь Дании [77].

Экстерьер сибирского скота описывается как достаточно разнородный с большим количеством фенотипов масти. Судя по сохранившимся изображениям (рис. 4, B, C), экстерьер сибирского скота более напоминал телосложение молочных чёрно-пёстрых пород, чем таких представителей скота турано-монгольской группы, как киргизский (рис. 4, A) или якутский скот (рис. 4, D). Таким образом, скрещивание с импортными породами уже к началу XX века позволило, по крайней мере, у части популяции сформировать экстерьер «классического молочного скота», свойственный старым породам, таким как голландская (рис. 2).

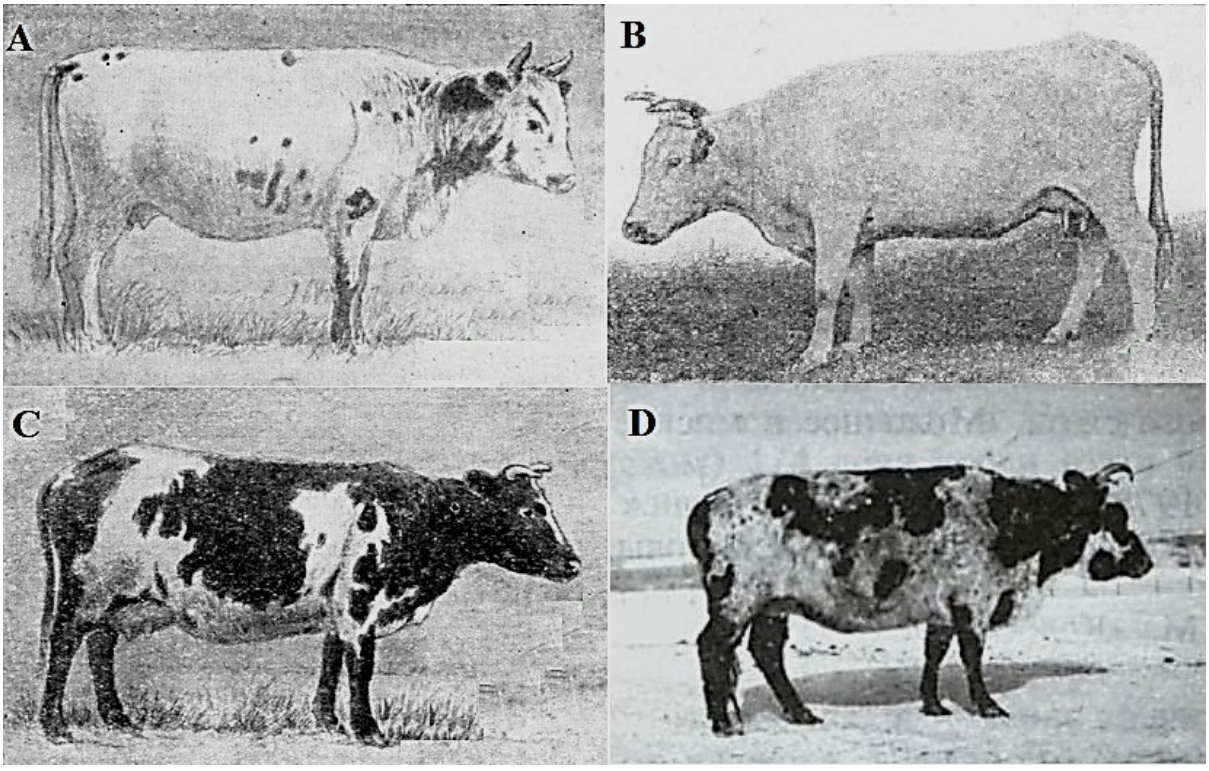


Рис. 4. **Сохранившиеся изображения коров турано-монгольской группы на начало XX века: киргизской породы (A), сибирской породы (B, C), якутской породы (D) [8] /**

Fig. 4. **Preserved images of cows of the Turano-Mongolian group at the beginning of the twentieth century: Kyrgyz breed (A), Siberian breed (B, C), Yakut breed (D) [8]**

В 1920-х годах в Сибири начался систематический учёт племенных животных. После революции местный сибирский скот разводили наравне с голландской, симментальской и другими привозными породами. Поголовье племенного скота было представлено на 94 % сибирской породой [75]. Начиная с 1930-го года, местное поголовье начали массово улучшать, в основном быками остфризской породы. В 1959 году улучшенное таким образом поголовье местного скота было оформлено в сибирское отродье чёрно-пёстрой породы, в котором выделялись две местных линии: Смерч 59606 (НСЧП-1) и Консул 10609 (НСЧП-2) [11]. Скрещивания сибирского отродья с голштинскими быками начались в 1974–1980 годах и продолжаются по сей день [78, 79]. На основе подобных скрещиваний с последующим разведением «в себе» в Сибири был создан ряд внутрипородных типов: приобский, ирменский, красноярский, прибайкальский [10, 12, 80]. Наиболее представительными линиями явля-

ются Рефлекшн Соверинг 198998, Вис Бэк Айдиал 101341 [81].

7. *Современное состояние сибирского чёрно-пёстрого голштинизированного скота*. В 2022 году были опубликованы результаты анализа микросателлитного профиля сибирского черно-пестрого голштинизированного скота из нескольких хозяйств и сравнение с референсной популяцией голштинов. Несмотря на массовую голштинизацию, отдельные стада современного сибирского чёрно-пёстрого скота сохраняют отдалённость от референсной популяции голштинов [82]. Согласно исследованиям [83], ожидаемая и фактическая гетерозиготность составили 0,69–0,68, что указывает на стабильно высокое генетическое разнообразие по микросателлитным локусам. По данным Федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийского научно-исследовательского института племенного дела за 2022 год, находящимся в открытом доступе[12], было проведено сравнение молочной продуктивности и продуктивного долголетия чёрно-пёстрого голштинизированного скота из Сибирского Федерального округа с другими регионами. Сибирский скот имеет относительно небольшой удой и белковомолочность на фоне животных из других федеральных округов, зато выделяется высокой жирномолочностью и продуктивным долголетием (табл. 2).

Таблица 2 – **Сравнение молочной продуктивности и продуктивного долголетия сибирских чёрно-пёстрых голштинизированных коров со сверстницами из других регионов /**
Table 2 – **Comparison of dairy productivity and productive longevity of Siberian black-and-white Holstein cows with their peers from other regions**

Федеральный округ / Federal district	*Кол-во животных / Number of animals*	*Удой, кг / Milk yield, kg*	*Жир, % / Fat, %*	*Белок, % / Protein, %*	*Продуктивное долголетие, лакт. / Productive longevity, lactations*
Дальневосточный / Far Eastern	7860	8300±23***	3,92±0,0028***	3,25±0,0015***	2,04±0,019***
Приволжский / Privolzhsky	281989	8957±4***	3,92±0,001***	3,24±0,003***	2,25±0,003***
Северо-Западный / North-West	127618	9858±7***	3,94±0,0011	3,33±0,005***	2,18±0,0043***
Северо-Кавказский / North Caucasian	7986	10261±29***	3,89±0,0042***	3,23±0,001	1,72±0,0108***
Сибирский / Siberian	78478	8578±9	3,94±0,0011	3,23±0,001	2,42±0,006
Уральский / Uralsky	63817	9383±9***	3,91±0,0017***	3,27±0,0007***	2,17±0,006***
Центральный / Central	295879	9702±4***	3,96±0,001***	3,36±0,0004***	2,17±0,0026***
Южный / South	44100	10221±13***	3,83±0,0013***	3,29±0,0005***	1,98±0,0065***

Примечания: удой, жир и белок приведены по наивысшей лактации. Продуктивное долголетие определено по последней законченной лактации. ***Показана достоверность различий со скотом из Сибирского ФО ($P < 0,001$), оценивали методом Коновера-Имана[13], используя язык программирования R /

Notes: milk yield, fat and protein are given according to the highest lactation. Productive longevity is determined by the last completed lactation. ****The reliability of differences with cattle from the Siberian Federal District ($P < 0.001$) was shown, evaluated using the Conover-Names method[13] using the R programming language

[12]База данных национального генофонда крупного рогатого скота молочного направления продуктивности. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Департамент животноводства и племенного дела. ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела. [Электронный ресурс]. URL: https://vniiplem.ru/l/gisc/bd_ng/db_ng_mol_krs/ (дата обращения: 10.02.2025).

[13]Conover W. J. Practical nonparametric statistics. New York, NY Weinheim: Wiley, 1999.3. ed. 584 p. URL: https://archive.org/details/practicalnonpara0000cono_a5o1

Начиная с 2015-го года, в некоторых племенных хозяйствах Новосибирской и Кемеровской областей в практическую селекцию введена оценка скота с помощью моделирования продуктивности потомков на стадии закрепления родительских пар. В основу такого метода закрепления легли линейные модели, учитывающие не фактическую продуктивность родителей, а спрогнозированный генетический потенциал [84]. В процессе моделирования учитываются родословные обоих родителей. Поэтому контроль за инбридингом осуществляется на стадии подбора родительских пар по методу Райта. Особое внимание при подборе уделяется экстерьеру родителей для формирования фенотипа скота, позволяющего наилучшим образом приспособиться к условиям содержания в конкретном хозяйстве. Важными признаками являются прямые спина и крестец, крепкие конечности, ваннообразное вымя с крепкой центральной связкой, не свисающее ниже скакательного сустава [85, 86]. В результате в ведущих хозяйствах были получены животные, сочетающие в себе признаки «лёгкого» экстерьера голштинской породы, характерного для Европы и США, что позволяет реализовать высокий генетический потенциал по продуктивности, а также крепкую конституцию местного скота, что помогает животным хорошо приспосабливаться к местным условиям содержания. Такой подход к закреплению родительских пар практикуется во многих странах с развитым молочным скотоводством, что позволило значительно повысить молочную продуктивность. В селекции сибирского чёрно-пёстрого голштинизированного скота подбор с помощью моделирования способствовал улучшению точности прогноза по удою до 80 %. Это в свою очередь повлекло увеличение удоя за 305 дней лактации до 10-11 тыс. кг молока. Удой отдельных рекордисток достигал 14–18 тыс. кг молока за 305 дней лактации (рис. 5) [84, 87].



Рис. 5. **Корова Дрёма 7558. Удой по 3-й лактации 18 054 кг за 305 дней /**
Fig. 5. **Cow Dryoma 7558. Milk yield for the 3rd lactation is 18 054 kg for 305 days**

Заключение. Формирование генофонда сибирского скота началось задолго до появления современных пород. Генофонд коренного сибирского скота унаследован главным образом от североафриканского, либо ближневосточного дикого тура (*Bos primigenius*), являющегося предком большинства современных пород крупного рогатого скота. В то время как большинство европейских пород произошли от ближневосточного подвида дикого тура (*Bos primigenius*), на формирование турано-монгольского скота, предположительно, оказали влияние и другие виды диких быков, такие как *Bos nomadicus* и *Bos mutus*. Необходимо провести генетические исследования с использованием современных методов (например, полногеномное секвенирование), чтобы выявить конкретный вклад каждого подвида в генофонд сибирского скота. В результате современный сибирский чёрно-пёстрый скот унаследовал от голштинской породы высокую продуктивность, а от аборигенного скота – приспособленность к местным условиям кормления и содержания. Возможно, от турано-монгольского скота был унаследован так называемый ген морозостойкости.

Список литературы

1. Yurchenko A., Yudin N., Aitnazarov R., Plyusnina A., Brukhin V., Soloshenko V. et al. Genome-wide genotyping uncovers genetic profiles and history of the Russian cattle breeds. Heredity. 2018;120(2):125–137. DOI: https://doi.org/10.1038/s41437-017-0024-3

2. Peñagaricano F. Chapter 6 – Genetics and genomics of dairy cattle. Animal Agriculture. 2020. pp. 101–119. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00006-9

3. Petrov A. F., Bogdanova O. V., Narozhnykh K. N., Kamaldinov E. V., Shatokhin K. S., Gart V. V. et al. Clustering of countries based on dairy productivity characteristics of Holstein cattle for breeding material selection. Veterinary World. 2024;17(5):1108–1118. DOI: https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.1108-1118

4. Gutiérrez-Reinoso M. A., Aponte P. M., García-Herreros M. A review of inbreeding depression in dairy cattle: current status, emerging control strategies, and future prospects. Journal of Dairy Research. 2022;89(1):3–12. DOI: https://doi.org/10.1017/S0022029922000188

5. Kochnev N., Goncharenko G., Mager S., Unzhakova A., Shatokhin K. Genotyping of selection-significant polymorphisms of cattle of the Western Siberia. E3S Web of Conferences. 2020;222:03019. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022203019

6. Богданова О. В., Камалдинов Е. В., Куликова С. Г., Гарт В. В., Петров А. Ф., Нарожных К. Н., Жигулин Т. А. Научно-теоретическое обоснование системы совершенствования селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве Новосибирской области. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2023;67(2):149–155. DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-67-2-149-155

7. Ефремова О. В., Рогозин В. А., Шатохин К. С., Камалдинов Е. В., Петров А. Ф., Богданова О. В. Молочная продуктивность скота ирменского типа в ретроспективном аспекте. Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: сб. научн. тр. Новосибирск: Издательский центр НГАУ «Золотой колос», 2021. С. 362–365. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=47134704 EDN: XFQVVC

8. Лискун Е. Ф. Отечественные породы крупного рогатого скота. М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1949. 184 с. Режим доступа: http://elib.cnshb.ru/books/free/0411/411371/54/

9. Юдин Н. С., Юрченко А. А., Ларкин Д. М. Следы отбора и гены-кандидаты адаптации к экстремальным факторам среды в геномах турано-монгольских пород крупного рогатого скота. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;25(2):190–201. DOI: https://doi.org/10.18699/VJ21.023 EDN: BGHZLJ

10. Бугаков Ю. Ф., Лабузова И. М., Шефер Н. А. Ирменский тип черно-пестрого скота: слагаемые успеха. Новосибирск: Ирмень, 2007. 296 с.

11. Герасимчук Л. Д., Яранцева С. Б. Создание и совершенствование черно-пестрого скота Сибири. Состояние и проблемы сельскохозяйственной науки на Алтае: сб. научн. работ. Барнаул: ФГБНУ Алтайский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, 2010. С. 264–267. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=32857404 EDN: YXDAQT

12. Чёрно-пёстрый скот Сибири. Под ред. А. И. Жёлтикова. Новосибирск: Новосибирский ГАУ, 2010. 500 с.

13. Lenstra J. A., Felius M., Theunissen B. Domestic cattle and buffaloes. Ecology, Evolution and Behaviour of Wild Cattle. Melletti M, Burton J, ed. Cambridge University Press, 2014. pp. 30–38. URL: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781139568098%23c3/type/book_part

14. Russel N., Martin L., Buitenhuis H. Cattle Domestication at Çatalhöyük Revisited. Current Anthropology. 2005;46(S5):101–108. URL: https://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.1086/497664

15. McTavish E. J., Decker J. E., Schnabel R. D., Taylor J. F., Hillis D. M. New World cattle show ancestry from multiple independent domestication events. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2013;110(15):E1398–E1406. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1303367110

16. Felius M., Beerling M. L., Buchanan D., Theunissen B., Koolmees P., Lenstra J. On the History of Cattle Genetic Resources. Diversity. 2014;6(4):705–750. DOI: https://doi.org/10.3390/d6040705

17. Scheu A., Powell A., Bollongino R., Vigne J. D., Tresset A., Çakırlar C. et al. The genetic prehistory of domesticated cattle from their origin to the spread across Europe. BMC Genetics. 2015;16:54. DOI: https://doi.org/10.1186/s12863-015-0203-2

18. Upadhyay M. R., Chen W., Lenstra J. A., Goderie C. R. J., MacHugh D. E., Park S. D. E. et al. Genetic origin, admixture and population history of aurochs (*Bos primigenius*) and primitive European cattle. Heredity. 2017;118(2):169–176. DOI: https://doi.org/10.1038/hdy.2016.79

19. Pitt D., Sevane N., Nicolazzi E. L., MacHugh D. E., Park S. D. E., Colli L. et al. Domestication of cattle: Two or three events? Evolutionary Applications. 2019;12(1):123–136. DOI: https://doi.org/10.1111/eva.12674

20. Felius M. Cattle breeds of the World. BRILL, 2024. 992 p. URL: https://brill.com/display/title/59475

21. Xia X., Qu K., Wang Y., Sinding M. H. S., Wang F., Hanif Q. et al. Global dispersal and adaptive evolution of domestic cattle: a genomic perspective. Stress Biology. 2023;3(1):8. DOI: https://doi.org/10.1007/s44154-023-00085-2

22. Senczuk G., Mastrangelo S., Ajmone-Marsan P., Becskei Z., Colangelo P., Colli L. et al. On the origin and diversification of Podolian cattle breeds: testing scenarios of European colonization using genome-wide SNP data. Genetics Selection Evolution. 2021;53(1):48. DOI: https://doi.org/10.1186/s12711-021-00639-w

23. Ajmone-Marsan P., Garcia J. F., Lenstra J. A. On the origin of cattle: How aurochs became cattle and colonized the world. Evolutionary Anthropology. 2010;19(4):148–157. DOI: https://doi.org/10.1002/evan.20267

24. Богданов Е. А. Происхождение домашних животных. 2-е изд. М.: Сельхозгиз, 1937. 334 с. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_005159871/

25. Tapio I., Tapio M., Li M. H., Popov R., Ivanova Z., Kantanen J. Estimation of relatedness among non-pedigreed Yakutian cryo-bank bulls using molecular data: implications for conservation and breed management. Genetics Selection Evolution. 2010;42(1):28. DOI: https://doi.org/10.1186/1297-9686-42-28

26. Гладырь Е. А., Шадрина Я. Л., Горелов П. В., Даваахуу Л., Попов Р. Г., Матюков В. С., и др. Характеристика аллелофонда якутского скота по микросателлитам. Сельскохозяйственная биология. 2011;46(6):65–69. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/harakteristika-allelofonda-yakutskogo-skota-po-mikrosatellitam

27. Колесник Н. Н. Эволюция крупного рогатого скота. Сталинабад, 1949. 330 с.

28. Iso-Touru T., Tapio M., Vilkki J., Kiseleva T., Ammosov I., Ivanova Z. et al. Genetic diversity and genomic signatures of selection among cattle breeds from Siberia, eastern and northern Europe. Animal Genetics. 2016;47(6):647–657. DOI: https://doi.org/10.1111/age.12473

29. Xia X. T., Achilli A., Lenstra J. A., Tong B., Ma Y., Huang Y. Z. et al. Mitochondrial genomes from modern and ancient Turano-Mongolian cattle reveal an ancient diversity of taurine maternal lineages in East Asia. Heredity. 2021;126(6):1000–1008. DOI: https://doi.org/10.1038/s41437-021-00428-7

30. Gao Y., Gautier M., Ding X., Zhang H., Wang Y., Wang X. et al. Species composition and environmental adaptation of indigenous Chinese cattle. Scientific Reports. 2017;7(1):16196. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-017-16438-7

31. Cai Y., Jiao T., Lei Z., Liu L., Zhao S. Maternal genetic and phylogenetic characteristics of domesticated cattle in northwestern China. PLoS One. 2018; 13(12): e0209645. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209645

32. Генджиева О. Б., Сулимова Г. Е. Анализ взаимоотношений между породами крупного рогатого скота турано-монгольской группы на основе ДНК-полиморфизма. Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2012;14(2):14–16. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=17732938 EDN: OYBHOT

33. Chen N., Huang J., Zulfiqar A., Li R., Xi Y., Zhang M. et al. Population structure and ancestry of Qinchuan cattle. Animal Genetics. 2018;49(3):246–248. DOI: https://doi.org/10.1111/age.12658

34. Mannen H., Kohno M., Nagata Y., Tsuji S., Bradley D. G., Yeo J. S. et al. Independent mitochondrial origin and historical genetic differentiation in North Eastern Asian cattle. Molecular Phylogenetics and Evolution. 2004;32(2):539–544. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ympev.2004.01.010

35. Zhang H., Paijmans J. L. A., Chang F., Wu X., Chen G., Lei C. et al. Morphological and genetic evidence for early Holocene cattle management in northeastern China. Nature Communications. 2013;4(1):2755. DOI: https://doi.org/10.1038/ncomms3755

36. Lu P., Brunson K., Yuan J., Li Z. Zooarchaeological and Genetic Evidence for the Origins of Domestic Cattle in Ancient China. Asian Perspectives. 2017;56(1):92–120. DOI: DOI: https://doi.org/10.1353/asi.2017.0003

37. Noda A., Yonesaka R., Sasazaki S., Mannen H. The mtDNA haplogroup P of modern Asian cattle: A genetic legacy of Asian aurochs? PLoS One. 2018;13(1):e0190937. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190937

38. Buggiotti L., Yurchenko A. A., Yudin N. S., Vander Jagt C. J., Vorobieva N. V., Kusliy M. A. et al. Demographic History, Adaptation, and NRAP Convergent Evolution at Amino Acid Residue 100 in the World Northernmost Cattle from Siberia. Molecular Biology and Evolution. 2021;38(8):3093–3110. DOI: https://doi.org/10.1093/molbev/msab078

39. Келлеръ К. Происхожденіе домашнихъ животныхъ. СПб: Изданіе П. П. Сойкина, 1913. 127 с. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_003804321/?ysclid=manhopihts690168603

40. Kantanen J., Edwards C. J., Bradley D. G., Viinalass H., Thessler S., Ivanova Z. et al. Maternal and paternal genealogy of Eurasian taurine cattle (*Bos taurus*). Heredity. 2009;103(5):404–415. DOI: https://doi.org/10.1038/hdy.2009.68

41. Xia X., Qu K., Zhang G., Jia Y., Ma Z., Zhao X. et al. Comprehensive analysis of the mitochondrial DNA diversity in Chinese cattle. Animal Genetics. 2019;50(1):70–73. DOI: https://doi.org/10.1111/age.12749

42. Ливанов М. Руководство къ разведенію и поправленію домашняго скота. Въ Санктпетербургъ, 1794. 80 с. Режим доступа: https://kp.rusneb.ru/item/reader/rukovodstvo-k-razvedeniyu-i-popravleniyu-domashnyago-skota

43. Rokosz M. History of the aurochs (*Bos Taurus Primigenius*) In Poland. Animal Genetic Resources. 1995;16:5–12. DOI: https://doi.org/10.1017/S1014233900004582

44. Douglas K. C., Halbert N. D., Kolenda C., Childers C., Hunter D. L., Derr J. N. Complete mitochondrial DNA sequence analysis of Bison bison and bison–cattle hybrids: Function and phylogeny. Mitochondrion. 2011;11(1):166–175. DOI: https://doi.org/10.1016/j.mito.2010.09.005

45. Yudin N. S., Kulikov I. V., Gunbin K. V., Aitnazarov R. B., Kushnir A. V., Sipko T. P. et al. Detection of mitochondrial DNA from domestic cattle in European bison (*Bison bonasus*) from the Altai Republic in Russia. Animal Genetics. 2012;43(3):362. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2011.02261.x

46. Shapiro B., Oppenheimer J., Heaton M. P., Kuhn K. L., Green R. E., Blackburn H. D., Smith T. P. L. Most Beefalo cattle have no detectable bison genetic ancestry. ELife. 2024;13:RP102750. DOI: https://doi.org/10.7554/eLife.102750.1

47. Kostyunina O., Mikhailova M., Dotsev V., Zemlyanko I., Volkova V. V., Fornara M. S. et al. Comparative Genetic Characteristics of the Russian and Belarusian Populations of Wisent (*Bison bonasus*), North American Bison (*Bison bison*) and Cattle (*Bos taurus*). Cytology and genetics. 2020;54(2):116–123. DOI: https://doi.org/10.3103/S0095452720020085

48. Lush J. L., Holbert J. C., Willham O. S. Genetic history of the holstein-friesian cattle in the United States. Journal of Heredity. 1936;27(2):61–72. DOI: https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a104174

49. Brade W., Brade E. Zuchtgeschichte der Deutschen Holsteinrinder. Berichte über Landwirtschaft. 2013;91(2):61. DOI: https://doi.org/10.12767/buel.v91i2.25

50. Houghton F. L. Holstein-Friesian cattle. A history of the breed and its development in America. Brattleboro, Vt, Press of the Holstein-Friesian Register, 1897. 380 p. URL: https://www.biodiversitylibrary.org/item/77956

51. Mansfield R. H. Progress of the breed. The history of U.S. Holsteins. Holstein-Friesian World, Inc. Sandy Creek, New York, USA, 1985. 362 p.
URL: https://www.abebooks.co.uk/9780961471101/Progress-Breed-History-Holsteins-Richard-0961471107/plp

52. Xavier C., Cozler Y. L., Depuille L., Caillot A., Lebreton A., Allain C. et al. The use of 3-dimensional imaging of Holstein cows to estimate body weight and monitor the composition of body weight change throughout lactation. Journal of Dairy Science. 2022;105(5):4508–4519. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2021-21337

53. Turini L., Conte G., Bonelli F., Madrigali A., Marani B., Sgorbini M. et al. Designing statistical models for holstein rearing heifers' weight estimation from birth to 15 months old using body measurements. Animals. 2021;11(7):1846. DOI: https://doi.org/10.3390/ani11071846

54. Kerslake J. I., Amer P. R., O'Neill P. L., Wong S. L., Roche J. R., Phyn C. V. C. Economic costs of recorded reasons for cow mortality and culling in a pasture-based dairy industry. Journal of Dairy Science. 2018;101(2):1795–1803. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2017-13124

55. Hu H., Mu T., Ma Y., Wang X., Ma Y. Analysis of longevity traits in Holstein cattle: A Review. Frontiers in Genetics. 2021;12:695543. DOI: https://doi.org/10.3389/fgene.2021.695543

56. Najafabadi H. A., Mahyari S. A., Edriss M. A., Strapakova E. Genetic analysis of productive life length in Holstein dairy cows using Weibull proportional risk model. Archives Animal Breeding. 2016;59(3):387–393. DOI: https://doi.org/10.5194/aab-59-387-2016

57. Chen S. Y., Boerman J. P., Gloria L. S., Pedrosa V. B., Doucette J., Brito L. F. Genomic-based genetic parameters for resilience across lactations in North American Holstein cattle based on variability in daily milk yield records. Journal of Dairy Science. 2023;106(6):4133–4146. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2022-22754

58. Ventura R. V., Fonseca E., Silva F., Yáñez J. M., Brito L. F. Opportunities and challenges of phenomics applied to livestock and aquaculture breeding in South America. Animal Frontiers. 2020;10(2):45–52.
DOI: https://doi.org/10.1093/af/vfaa008

59. Clark D. A., Caradus J. R., Monaghan R. M., Sharp P., Thorrold B. S. Issues and options for future dairy farming in New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research. 2007;50(2):203–221.
DOI: https://doi.org/10.1080/00288230709510291

60. Rowarth J. S. Dairy cows — economic production and environmental protection. In: Ecosystem services in New Zealand – conditions and trends. Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand: Dymond J. R., 2013. pp. 85–93.
URL: https://www.landcareresearch.co.nz/assets/Publications/Ecosystem-services-in-New-Zealand/1_6_Rowarth.pdf

61. Axford M., Santos B., Stachowicz K., Quinton C., Pryce J. E., Amer P. Impact of a multiple-test strategy on breeding index development for the Australian dairy industry. Animal Production Science. 2021;61(18):1940.
DOI: https://doi.org/10.1071/AN21058

62. Островский А. В. Животноводство европейской России в конце XIX – начале XX в. СПб, 2014. 442 с.
Режим доступа: https://library6.com/3596/item/530861

63. Степановский И. К. Маслоделие – богатство Севера. Вологда: тип. т-ва «Знаменский и Цветов», 1912. 298 с. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_003797337/?ysclid=manp2378of647723564

64. Ходецкий С. М. Руководство к уходу за крупным рогатым скотом. СПб: Тип. Министерства государственных имуществ, 1851. 218 с.
Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_02000031961/?ysclid=m78yhx16ca285423556

65. Миддендорф А. Ф. О способах улучшения нашего скотоводства. СПб., 1872. 67 с.

66. Фридолин С. П., Юрмалиат А. П. Молочный скот и молочное хозяйство: рук. для небольших хозяев, сост. по лекциям-беседам, чит. авторами на краткосрочных курсах по скотоводству и молочному хозяйству в деревнях. Т. 1-2. СПб.: Изданіе А. Ф. Девріена, 1913. 254 с.
Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_004017395/

67. Зиновьева Н. А., Доцев А. В., Сермягин А. А., Виммерс К., Рейер Х., Солкнер Й. и др. Изучение генетического разнообразия и популяционной структуры российских пород крупного рогатого скота с использованием полногеномного анализа SNP. Сельскохозяйственная биология. 2016;51(6):788–800.
DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.788rus EDN: XGVQXZ

68. Кулешов П. Н. Крупный рогатый скот. 6-е изд. М.: Новая деревня, 1926. 259 с.
Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_009107189/

69. Abdelmanova A. S., Kharzinova V. R., Volkova V. V., Mishina A. I., Dotsev A. V., Sermyagin A. A. et al. Genetic diversity of historical and modern populations of Russian. Genes (Basel). 2020;11(8):940.
DOI: https://doi.org/10.3390/genes11080940

70. Косяченко Н. М., Абрамова М. В., Ильина А. В., Зырянова С. В., Коновалов А. В., Косоурова Т. Н. Голштинская порода в создании улучшенных генотипов и внутрипородных типов крупного рогатого скота: монография. Ярославль: Канцлер, 2020. 157 с.
Режим доступа: http://yaniizhk.ru/wp-content/uploads/2021/02//Голштинская-порода-в-создании-улучшенных-генотипов-и-внутрипородных-типов-крупного-рогатого-скота.pdf

71. 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

72. Кассал Б. Ю. Скотоводство на территории Омской области. Национальные приоритеты России. 2019;(3):66–74. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=41847112 EDN: CXGYQH

73. Кротт И. И. Улучшение породы местного скота в предпринимательских хозяйствах Западной Сибири в конце XIX – начале XX вв. История и краеведение Западной Сибири: проблемы и перспективы изучения: сб. мат-лов V Регион. научн.-практ. конф. с международ. участием. Ишим: филиал ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет» в г. Ишиме, 2014. С. 43–50.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=22520322 EDN: SYVCWH

74. Кузнецов Д. В. Организация первых выставок животноводства в Западной Сибири в начале XX в. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016;(2):254–260.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=26584041 EDN: WJTFBD

75. Иваненко В. Е. Племенное животноводство Зауралья в годы гражданской войны и НЭПА (1919-1928 гг.). Современные исследования социальных проблем. 2017;9(4–1):65–77.
DOI: https://doi.org/10.12731/2077-1770-2017-4-65-77 EDN: YNXDPS

76. Соколов А. П. Красный немецкий скот в Омской губернии. Омск: Омское отд-ние Всероссийского Меннонитского сельскохозяйственного общ-ва, 1926. 88 с. Режим доступа: https://media.chortitza.org/pdf/pdf/0v925.pdf

77. Николаев А. А. Как Сибирь в начале XX в. оказалась в центре мировой торговли маслом. ЭКО. 2016;(6):36–49. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=26096642 EDN: VZBWZZ

78. Коростелева Н. И., Рудишина Н. И. История создания и современное состояние Алтайской популяции приобского молочного типа скота черно-пестрой породы. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2007;(3):30–38. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=10411881 EDN: ITVXXP

79. Клименок И. И., Яранцева С. Б., Шишкина М. А. Продуктивные и племенные качества черно-пестрого скота Сибирского региона. Генетика и разведение животных. 2014;(2):30–33.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24353813 EDN: UMYHND

80. Голубков А. И., Лущенко А. Е. Состояние и перспективы разведения внутрипородного типа «Красноярский» черно-пестрой породы. Вестник КрасГАУ. 2016;(1):137–140.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=25658338 EDN: VPMNFN

81. Перминова О. В. Генеалогическая структура маточного поголовья молочного скота хозяйств Омской области. Актуальные проблемы современной науки: сб. ст. II Международ. научн.-практ. конф. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2022. С. 21–25.
Режим доступа**:** https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49305558 EDN: VCRGMY

82. Aitnazarov R. B., Mishakova T. M., Yudin N. S. Assessment of genetic diversity and phylogenetic relationships in Black Pied cattle in the Novosibirsk Region using microsatellite markers. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2022;25(8):831–838. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.18699/VJ21.096

83. Петров А. Ф., Камалдинов Е. В. Генетическая структура скота сибирского отродья по микросателлитным локусам. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024;(3):230–239. DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-72-3-230-239 EDN: OUEOOC

84. Петров А. Ф., Камалдинов Е. В., Богданова О. В., Шатохин К. С., Ефремова О. В., Рогозин В. А. Роль фиксированных и случайных факторов в изменчивости удоя скота ирменского типа в условиях промышленного комплекса. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2021;(4):137–149. DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-61-4-137-149 EDN: EGNOKX

85. Гарт В. В., Куликова С. Г., Нарожных К. Н., Камалдинов Е. В. Раннее прогнозирование содержания молочного жира у голштинского скота на основе сопряжённой изменчивости с линейными признаками. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024;(4):168–176.
DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-168-176 EDN: QZWWCJ

86. Гарт В. В., Куликова С. Г., Богданова О. В., Норкина В. М., Камалдинов Е. В., Петров А. Ф. Полиномиальная сопряжённая изменчивость признаков линейной оценки экстерьера и удоя высокопродуктивного голштинского скота. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024;(5):86–100.
DOI: https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-5-86-100 EDN: SCPXZK

87. Kamaldinov E. V., Panferova O. D., Efremova O. V., Marenkov V. G., Petrov A. F., Ryumkina I. N. Assessment of the variability of reproductive abilities of a black and white cattle using genealogical data and paratypical factors. Data in Brief. 2021;35:106842. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106842

References

1. Yurchenko A., Yudin N., Aitnazarov R., Plyusnina A., Brukhin V., Soloshenko V. et al. Genome-wide genotyping uncovers genetic profiles and history of the Russian cattle breeds. Heredity. 2018;120(2):125–137. DOI: https://doi.org/10.1038/s41437-017-0024-3

2. Peñagaricano F. Chapter 6 – Genetics and genomics of dairy cattle. Animal Agriculture. 2020. pp. 101–119. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00006-9

3. Petrov A. F., Bogdanova O. V., Narozhnykh K. N., Kamaldinov E. V., Shatokhin K. S., Gart V. V. et al. Clustering of countries based on dairy productivity characteristics of Holstein cattle for breeding material selection. Veterinary World. 2024;17(5):1108–1118. DOI: https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.1108-1118

4. Gutiérrez-Reinoso M. A., Aponte P. M., García-Herreros M. A review of inbreeding depression in dairy cattle: current status, emerging control strategies, and future prospects. Journal of Dairy Research. 2022;89(1):3–12. DOI: https://doi.org/10.1017/S0022029922000188

5. Kochnev N., Goncharenko G., Mager S., Unzhakova A., Shatokhin K. Genotyping of selection-significant polymorphisms of cattle of the Western Siberia. E3S Web of Conferences. 2020;222:03019. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022203019

6. Bogdanova O. V., Kamaldinov E. V., Kulikova S. G., Garth V. V., Petrov A. F., Narozhnykh K. N., Zhigulin T. A. Scientific and theoretical substantiation of the system of improving selection and breeding work in dairy cattle breeding in the Novosibirsk region. *Vestnik NGAU* (*Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet*) = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2023;(2):149–155. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-67-2-149-155

7. Efremova O. V., Rogozin V. A., Shatokhin K. S., Kamaldinov E. V., Petrov A. F., Bogdanova O. V. Dairy productivity of Irmen cattle in a retrospective aspect. Actual problems of the agro-industrial complex: collection of scientific papers. Novosibirsk: *Izdatel'skiy tsentr NGAU «Zolotoy kolos»*, 2021. pp. 362–365. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=47134704

8. Liskun E. F. Domestic cattle breeds. Moscow: *Gosudarstvennoe izdatel'stvo sel'skokhozyaystvennoy literatury*, 1949. 184 p. URL: http://elib.cnshb.ru/books/free/0411/411371/54/

9. Yudin N. S., Yurchenko A. A., Larkin D. M. Signatures of selection and candidate genes for adaptation to extreme environmental factors in the genomes of Turano-Mongolian cattle breeds. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;25(2):190–201. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/VJ21.023

10. Bugakov Yu. F., Labuzova I. M., Shefer N. A. Irmen type of black-and-white cattle: components of success. Novosibirsk: *Irmen'*, 2007. 296 p.

11. Gerasimchuk L. D., Yarantseva S. B. Creation and improvement of black-and-white Siberian cattle. The state and problems of agricultural science in Altai: collection of scientific articles. Barnaul: *FGBNU Altayskiy nauchno-issledovatel'skiy institut sel'skogo khozyaystva*, 2010. pp. 264–267. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=32857404

12. Black-and-white cattle of Siberia. *Pod red. A. I. Zheltikova*. Novosibirsk: *Novosibirskiy GAU*, 2010. 500 p.

13. Lenstra J. A., Felius M., Theunissen B. Domestic cattle and buffaloes. Ecology, Evolution and Behaviour of Wild Cattle. Melletti M, Burton J, ed. Cambridge University Press, 2014. pp. 30–38. URL: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781139568098%23c3/type/book_part

14. Russel N., Martin L., Buitenhuis H. Cattle Domestication at Çatalhöyük Revisited. Current Anthropology. 2005;46(S5):101–108. URL: https://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.1086/497664

15. McTavish E. J., Decker J. E., Schnabel R. D., Taylor J. F., Hillis D. M. New World cattle show ancestry from multiple independent domestication events. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2013;110(15):E1398–E1406. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1303367110

16. Felius M., Beerling M. L., Buchanan D., Theunissen B., Koolmees P., Lenstra J. On the History of Cattle Genetic Resources. Diversity. 2014;6(4):705–750. DOI: https://doi.org/10.3390/d6040705

17. Scheu A., Powell A., Bollongino R., Vigne J. D., Tresset A., Çakırlar C. et al. The genetic prehistory of domesticated cattle from their origin to the spread across Europe. BMC Genetics. 2015;16:54. DOI: https://doi.org/10.1186/s12863-015-0203-2

18. Upadhyay M. R., Chen W., Lenstra J. A., Goderie C. R. J., MacHugh D. E., Park S. D. E. et al. Genetic origin, admixture and population history of aurochs (*Bos primigenius*) and primitive European cattle. Heredity. 2017;118(2):169–176. DOI: https://doi.org/10.1038/hdy.2016.79

19. Pitt D., Sevane N., Nicolazzi E. L., MacHugh D. E., Park S. D. E., Colli L. et al. Domestication of cattle: Two or three events? Evolutionary Applications. 2019;12(1):123–136. DOI: https://doi.org/10.1111/eva.12674

20. Felius M. Cattle breeds of the World. BRILL, 2024. 992 p. URL: https://brill.com/display/title/59475

21. Xia X., Qu K., Wang Y., Sinding M. H. S., Wang F., Hanif Q. et al. Global dispersal and adaptive evolution of domestic cattle: a genomic perspective. Stress Biology. 2023;3(1):8. DOI: https://doi.org/10.1007/s44154-023-00085-2

22. Senczuk G., Mastrangelo S., Ajmone-Marsan P., Becskei Z., Colangelo P., Colli L. et al. On the origin and diversification of Podolian cattle breeds: testing scenarios of European colonization using genome-wide SNP data. Genetics Selection Evolution. 2021;53(1):48. DOI: https://doi.org/10.1186/s12711-021-00639-w

23. Ajmone-Marsan P., Garcia J. F., Lenstra J. A. On the origin of cattle: How aurochs became cattle and colonized the world. Evolutionary Anthropology. 2010;19(4):148–157. DOI: https://doi.org/10.1002/evan.20267

24. Bogdanov E. A. Origin of pets. *2-e izd*. Moscow: *Sel'khozgiz*, 1937. 334 p. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_005159871/

25. Tapio I., Tapio M., Li M. H., Popov R., Ivanova Z., Kantanen J. Estimation of relatedness among non-pedigreed Yakutian cryo-bank bulls using molecular data: implications for conservation and breed management. Genetics Selection Evolution. 2010;42(1):28. DOI: https://doi.org/10.1186/1297-9686-42-28

26. Gladyr' E. A., Shadrina Ya. L., Gorelov P. V., Davaakhuu L., Popov R. G., Matyukov V. S., et al. Yhe characteristics of allele pool of yakut cattle using microsatellites. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2011;46(6):65–69. (In Russ.). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/harakteristika-allelofonda-yakutskogo-skota-po-mikrosatellitam

27. Kolesnik N. N. The evolution of cattle. Stalinabad, 1949. 330 p.

28. Iso-Touru T., Tapio M., Vilkki J., Kiseleva T., Ammosov I., Ivanova Z. et al. Genetic diversity and genomic signatures of selection among cattle breeds from Siberia, eastern and northern Europe. Animal Genetics. 2016;47(6):647–657. DOI: https://doi.org/10.1111/age.12473

29. Xia X. T., Achilli A., Lenstra J. A., Tong B., Ma Y., Huang Y. Z. et al. Mitochondrial genomes from modern and ancient Turano-Mongolian cattle reveal an ancient diversity of taurine maternal lineages in East Asia. Heredity. 2021;126(6):1000–1008. DOI: https://doi.org/10.1038/s41437-021-00428-7

30. Gao Y., Gautier M., Ding X., Zhang H., Wang Y., Wang X. et al. Species composition and environmental adaptation of indigenous Chinese cattle. Scientific Reports. 2017;7(1):16196. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-017-16438-7

31. Cai Y., Jiao T., Lei Z., Liu L., Zhao S. Maternal genetic and phylogenetic characteristics of domesticated cattle in northwestern China. PLoS One. 2018; 13(12): e0209645. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209645

32. Gendzhieva O. B., Sulimova G. E. The analysis of mutual relations between breeds of horned cattle of the turano-mongolian group on the basis of DNA polymorphism. *Aktual'nye voprosy veterinarnoy biologii* = Actual questions of veterinary biology. 2012;14(2):14–16. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=17732938

33. Chen N., Huang J., Zulfiqar A., Li R., Xi Y., Zhang M. et al. Population structure and ancestry of Qinchuan cattle. Animal Genetics. 2018;49(3):246–248. DOI: https://doi.org/10.1111/age.12658

34. Mannen H., Kohno M., Nagata Y., Tsuji S., Bradley D. G., Yeo J. S. et al. Independent mitochondrial origin and historical genetic differentiation in North Eastern Asian cattle. Molecular Phylogenetics and Evolution. 2004;32(2):539–544. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ympev.2004.01.010

35. Zhang H., Paijmans J. L. A., Chang F., Wu X., Chen G., Lei C. et al. Morphological and genetic evidence for early Holocene cattle management in northeastern China. Nature Communications. 2013;4(1):2755. DOI: https://doi.org/10.1038/ncomms3755

36. Lu P., Brunson K., Yuan J., Li Z. Zooarchaeological and Genetic Evidence for the Origins of Domestic Cattle in Ancient China. Asian Perspectives. 2017;56(1):92–120. DOI: DOI: https://doi.org/10.1353/asi.2017.0003

37. Noda A., Yonesaka R., Sasazaki S., Mannen H. The mtDNA haplogroup P of modern Asian cattle: A genetic legacy of Asian aurochs? PLoS One. 2018;13(1):e0190937. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190937

38. Buggiotti L., Yurchenko A. A., Yudin N. S., Vander Jagt C. J., Vorobieva N. V., Kusliy M. A. et al. Demographic History, Adaptation, and NRAP Convergent Evolution at Amino Acid Residue 100 in the World Northernmost Cattle from Siberia. Molecular Biology and Evolution. 2021;38(8):3093–3110. DOI: https://doi.org/10.1093/molbev/msab078

39. Keller" K. Origin of pets. Saint-Petersburg: *Izdanie P. P. Soykina*, 1913. 127 p. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_003804321/?ysclid=manhopihts690168603

40. Kantanen J., Edwards C. J., Bradley D. G., Viinalass H., Thessler S., Ivanova Z. et al. Maternal and paternal genealogy of Eurasian taurine cattle (*Bos taurus*). Heredity. 2009;103(5):404–415. DOI: https://doi.org/10.1038/hdy.2009.68

41. Xia X., Qu K., Zhang G., Jia Y., Ma Z., Zhao X. et al. Comprehensive analysis of the mitochondrial DNA diversity in Chinese cattle. Animal Genetics. 2019;50(1):70–73. DOI: https://doi.org/10.1111/age.12749

42. Livanov M. A guide to breeding and recuperating livestock. Saint-Petersburg, 1794. 80 p. URL: https://kp.rusneb.ru/item/reader/rukovodstvo-k-razvedeniyu-i-popravleniyu-domashnyago-skota

43. Rokosz M. History of the aurochs (*Bos Taurus Primigenius*) In Poland. Animal Genetic Resources. 1995;16:5–12. DOI: https://doi.org/10.1017/S1014233900004582

44. Douglas K. C., Halbert N. D., Kolenda C., Childers C., Hunter D. L., Derr J. N. Complete mitochondrial DNA sequence analysis of Bison bison and bison–cattle hybrids: Function and phylogeny. Mitochondrion. 2011;11(1):166–175. DOI: https://doi.org/10.1016/j.mito.2010.09.005

45. Yudin N. S., Kulikov I. V., Gunbin K. V., Aitnazarov R. B., Kushnir A. V., Sipko T. P. et al. Detection of mitochondrial DNA from domestic cattle in European bison (*Bison bonasus*) from the Altai Republic in Russia. Animal Genetics. 2012;43(3):362. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2011.02261.x

46. Shapiro B., Oppenheimer J., Heaton M. P., Kuhn K. L., Green R. E., Blackburn H. D., Smith T. P. L. Most Beefalo cattle have no detectable bison genetic ancestry. ELife. 2024;13:RP102750. DOI: https://doi.org/10.7554/eLife.102750.1

47. Kostyunina O., Mikhailova M., Dotsev V., Zemlyanko I., Volkova V. V., Fornara M. S. et al. Comparative Genetic Characteristics of the Russian and Belarusian Populations of Wisent (*Bison bonasus*), North American Bison (*Bison bison*) and Cattle (*Bos taurus*). Cytology and genetics. 2020;54(2):116–123. DOI: https://doi.org/10.3103/S0095452720020085

48. Lush J. L., Holbert J. C., Willham O. S. Genetic history of the holstein-friesian cattle in the United States. Journal of Heredity. 1936;27(2):61–72. DOI: https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a104174

49. Brade W., Brade E. Zuchtgeschichte der Deutschen Holsteinrinder. Berichte über Landwirtschaft. 2013;91(2):61. DOI: https://doi.org/10.12767/buel.v91i2.25

50. Houghton F. L. Holstein-Friesian cattle. A history of the breed and its development in America. Brattleboro, Vt, Press of the Holstein-Friesian Register, 1897. 380 p. URL: https://www.biodiversitylibrary.org/item/77956

51. Mansfield R. H. Progress of the breed. The history of U.S. Holsteins. Holstein-Friesian World, Inc. Sandy Creek, New York, USA, 1985. 362 p. URL: https://www.abebooks.co.uk/9780961471101/Progress-Breed-History-Holsteins-Richard-0961471107/plp

52. Xavier C., Cozler Y. L., Depuille L., Caillot A., Lebreton A., Allain C. et al. The use of 3-dimensional imaging of Holstein cows to estimate body weight and monitor the composition of body weight change throughout lactation. Journal of Dairy Science. 2022;105(5):4508–4519. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2021-21337

53. Turini L., Conte G., Bonelli F., Madrigali A., Marani B., Sgorbini M. et al. Designing statistical models for holstein rearing heifers' weight estimation from birth to 15 months old using body measurements. Animals. 2021;11(7):1846. DOI: https://doi.org/10.3390/ani11071846

54. Kerslake J. I., Amer P. R., O'Neill P. L., Wong S. L., Roche J. R., Phyn C. V. C. Economic costs of recorded reasons for cow mortality and culling in a pasture-based dairy industry. Journal of Dairy Science. 2018;101(2):1795–1803. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2017-13124

55. Hu H., Mu T., Ma Y., Wang X., Ma Y. Analysis of longevity traits in Holstein cattle: A Review. Frontiers in Genetics. 2021;12:695543. DOI: https://doi.org/10.3389/fgene.2021.695543

56. Najafabadi H. A., Mahyari S. A., Edriss M. A., Strapakova E. Genetic analysis of productive life length in Holstein dairy cows using Weibull proportional risk model. Archives Animal Breeding. 2016;59(3):387–393. DOI: https://doi.org/10.5194/aab-59-387-2016

57. Chen S. Y., Boerman J. P., Gloria L. S., Pedrosa V. B., Doucette J., Brito L. F. Genomic-based genetic parameters for resilience across lactations in North American Holstein cattle based on variability in daily milk yield records. Journal of Dairy Science. 2023;106(6):4133–4146. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2022-22754

58. Ventura R. V., Fonseca E., Silva F., Yáñez J. M., Brito L. F. Opportunities and challenges of phenomics applied to livestock and aquaculture breeding in South America. Animal Frontiers. 2020;10(2):45–52. DOI: https://doi.org/10.1093/af/vfaa008

59. Clark D. A., Caradus J. R., Monaghan R. M., Sharp P., Thorrold B. S. Issues and options for future dairy farming in New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research. 2007;50(2):203–221. DOI: https://doi.org/10.1080/00288230709510291

60. Rowarth J. S. Dairy cows — economic production and environmental protection. In: Ecosystem services in New Zealand – conditions and trends. Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand: Dymond J. R., 2013. pp. 85–93. URL: https://www.landcareresearch.co.nz/assets/Publications/Ecosystem-services-in-New-Zealand/1_6_Rowarth.pdf

61. Axford M., Santos B., Stachowicz K., Quinton C., Pryce J. E., Amer P. Impact of a multiple-test strategy on breeding index development for the Australian dairy industry. Animal Production Science. 2021;61(18):1940. DOI: https://doi.org/10.1071/AN21058

62. Ostrovskiy A. V. Animal husbandry in European Russia in the late 19th – early 20th century. Saint-Petersburg, 2014. 442 p. URL: https://library6.com/3596/item/530861

63. Stepanovskiy I. K. Buttermaking is the wealth of the North. Vologda: *tip. t-va «Znamenskiy i Tsvetov»*, 1912. 298 p. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_003797337/?ysclid=manp2378of647723564

64. Khodetskiy S. M. Rukovodstvo k ukhodu za krupnym rogatym skotom. Saint-Petersburg: *Tip. Ministerstva gosudarstvennykh imushchestv*, 1851. 218 p. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_02000031961/?ysclid=m78yhx16ca285423556

65. Middendorf A. F. About ways to improve our cattle breeding. Saint-Petersburg, 1872. 67 p.

66. Fridolin S. P., Yurmaliat A. P. Dairy cattle and dairy farming: Manual for small hosts, comp. according to lectures and talks, read by the authors of short-term courses on cattle breeding and dairy farming in villages. Vol. 1–2. Saint-Petersburg: *Izdanie A. F. Devriena*, 1913. 254 p. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_004017395/

67. Zinovieva N. A., Dotsev A. V., Sermyagin A. A., Vimmers K., Reyer Kh., Solkner Y. et al. Study of genetic diversity and population structure of five Russian cattle breeds using whole-genome SNP analysis. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2016;51(6):788–800. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.788rus

68. Kuleshov P. N. Cattle. *6-e izd*. Moscow: *Novaya derevnya*, 1926. 259 p. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_009107189/

69. Abdelmanova A. S., Kharzinova V. R., Volkova V. V., Mishina A. I., Dotsev A. V., Sermyagin A. A. et al. Genetic diversity of historical and modern populations of Russian. Genes (Basel). 2020;11(8):940. DOI: https://doi.org/10.3390/genes11080940

70. Kosyachenko N. M., Abramova M. V., Ilina A. V., Zyryanova S. V., Konovalov A. V., Kosourova T. N. The Holstein breed in the creation of improved genotypes and inbreed types of cattle: monograph. Yaroslavl': *Kantsler*, 2020. 157 p. URL: http://yaniizhk.ru/wp-content/uploads/2021/02//Голштинская-порода-в-создании-улучшенных-генотипов-и-внутрипородных-типов-крупного-рогатого-скота.pdf

71. 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

72. Kassal B. Yu. Cattle breeding in the Omsk region. *Natsional'nye prioritety Rossii*. 2019;(3):66–74. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41847112

73. Krott I. I. Improvement of the breed of local cattle in business enterprises of Western Siberia in the late 19th and early 20th centuries. History and local history of Western Siberia: problems and prospects of study: Proceedings of the V Regional scientific-practical conference with international participation. Ishim: *filial FGBOU VPO «Tyumenskiy gosudarstvennyy universitet» v g. Ishime*, 2014. pp. 43–50. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=22520322

74. Kuznetsov D. V. Organization of the first exhibition of livestock in Western Siberia in the early XX century. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2016;(2):254–260. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=26584041

75. Ivanenko V. E. Livestock breeding of the Transurals region in the years of the civil war and the new economic policy (1919-1928). *Sovremennye issledovaniya sotsial'nykh problem* = Modern Studies of Social Issues. 2017;9(4–1):65–77. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12731/2077-1770-2017-4-65-77

76. Sokolov A. P. Red German cattle in Omsk province. Omsk: *Omskoe otd-nie Vserossiyskogo Mennonitskogo sel'skokhozyaystvennogo obshchva*, 1926. 88 p. URL: https://media.chortitza.org/pdf/pdf/0v925.pdf

77. Nikolaev A. A. As Siberia in the early twentieth century became the center of world butter trade. *EKO*. 2016;(6):36–49. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=26096642

78. Korosteleva N. I., Rudishina N. I. Histoy of breeding and modern condition of the altai population of the dairy cow of black-and-white breeed in the ob area. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2007;(3):30–38. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=10411881

79. Klimenok I. I., Yarantseva S. B., Shishkina M. A. Productive and breeding qualities of black and motley cattle Siberian region. *Genetika i razvedenie zhivotnykh* = Genetics and breeding of animals. 2014;(2):30–33. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=24353813

80. Golubkov A. I., Lushchenko A. E. Interbreed typekrasnoyarsk black-motley breed. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2016;(1):137–140. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25658338

81. Perminova O. V. Genealogical structure of the breeding stock of dairy cattle farms of the Omsk region. Actual problems of modern science: collection of articles of II International scientific-practical conference. Penza: *MTsNS «Nauka i Prosveshchenie»*, 2022. pp. 21–25. URL**:** https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49305558

82. Aitnazarov R. B., Mishakova T. M., Yudin N. S. Assessment of genetic diversity and phylogenetic relationships in Black Pied cattle in the Novosibirsk Region using microsatellite markers. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2022;25(8):831–838. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/VJ21.096

83. Petrov A. F., Kamaldinov E. V. Genetic structure of cattle of the siberian branch by microsatellite loci. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2024;(3):230–239. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-72-3-230-239

84. Petrov A. F., Kamaldinov E. V., Bogdanova O. V., Shatokhin K. S., Efremova O. F., Rogozin V. A. The role of fixed factors in the variability of milk yield in Irmeni cattle under industrial complex conditions. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2021;(4):137–149. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-61-4-137-149

85. Gart V. V., Kulikova S. G., Narozhnykh K. N., Kamaldinov E. V. Early prediction of milk fat content in holstein cattle based on correlated variability with linear traits. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2024;(4):168–176. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-168-176

86. Gart V. V., Kulikova S. G., Bogdanova O. V., Norkina V. M., Kamaldinov E. V., Petrov A. F. Polynomial conjugate variability of traits of linear assessment of the exterior and milk yield of highly productive Holstein cattle. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2024;(5):86–100. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-5-86-100

87. Kamaldinov E. V., Panferova O. D., Efremova O. V., Marenkov V. G., Petrov A. F., Ryumkina I. N. Assessment of the variability of reproductive abilities of a black and white cattle using genealogical data and paratypical factors. Data in Brief. 2021;35:106842. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106842

Сведения об авторах

✉ **Шатохин Кирилл Сергеевич,** кандидат биол. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории прикладной биоинформатики, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, д. 160, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0002-0885-2772**, e-mail: true_genetic@mail.ru

Нарожных Кирилл Николаевич, кандидат биол. наук, доцент, доцент кафедры прикладной биоинформатики, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, д. 160, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0002-1519-697X**

Петров Алексей Фёдорович, заведующий лабораторией прикладной биоинформатики, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, д. 160, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0002-7402-4107**

Чечушкова Марина Анатольевна, кандидат биол. наук, доцент, доцент кафедры прикладной биоинформатики, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, д. 160, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru

Норкина Виолетта Михайловна, ассистент кафедры прикладной биоинформатики, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, д. 160, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0009-0007-3352-3958**

Ефремова Ольга Викторовна, главный зоотехник-селекционер ЗАО племзавод "Ирмень", с. Верх-Ирмень, Ордынский район, Новосибирская область, Российская Федерация, 633272, e-mail: irmeny@mail.ru

Камалдинов Евгений Варисович, доктор биол. наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной биоинформатики, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, д. 160, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0341-5055**

Information about the author

✉ **Kirill S. Shatokhin,** PhD in Biological Science, associate professor, senior researcher, the Laboratory of Applied Bioinformatics, Novosibirsk State Agricultural University, Dobrolyubov Street, 160, Novosibirsk, Russian Federation, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0885-2772**, e-mail: true_genetic@mail.ru

Kirill N. Narozhnykh, PhD in Biological Science, associate professor, Associate Professor at the Department of Applied Bioinformatics, Novosibirsk State Agricultural University, Dobrolyubov Street, 160, Novosibirsk, Russian Federation, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1519-697X**

Alexey F. Petrov, Head of the Laboratory of Applied Bioinformatics, Novosibirsk State Agricultural University, Dobrolyubov Street, 160, Novosibirsk, Russian Federation, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7402-4107**

Marina A. Chechushkova, PhD in Biological Science, associate professor, Associate Professor at the Department of the Laboratory of Applied Bioinformatics, Novosibirsk State Agricultural University, Dobrolyubov Street, 160, Novosibirsk, Russian Federation, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru

Violetta M. Norkina, lecturer, the Department of Applied Bioinformatics, Novosibirsk State Agricultural University, Dobrolyubov Street, 160, Novosibirsk, Russian Federation, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0007-3352-3958**

Olga V. Efremova, chief zootechnician and breeder, CJSC "Plemzavod Irmen", Verkh-Irmen village, Ordynsk district, Novosibirsk region, Russian Federation, 633272, e-mail: irmeny@mail.ru

Evgueny V. Kamaldinov, DSc in Biological Science, associate professor, Head of the Department of Applied Bioinformatics, Novosibirsk State Agricultural University, Dobrolyubov Street, 160, Novosibirsk, Russian Federation, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0341-5055**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.519–535
УДК 631.362.3

(cc) BY

Анализ конструкций и технологического процесса зерноочистительных машин, работающих по пневмофракционной технологии (обзор)

© 2025. А. Л. Глушков✉
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Фракционирование зернового вороха на стадии предварительной очистки позволяет снизить суммарные энергозатраты на переработку зерна и его травмирование за счёт уменьшения количества операций очистки, необходимых для получения высококачественного семенного материала. Целью обзора является анализ конструкций и технологического процесса зерноочистительных машин, работающих по пневмофракционной технологии, для выявления перспективных направлений исследований в этой области. Установлено, что пневмосепараторы зерна имеют простую конструкцию и высокую производительность, которая не зависит от засорённости и влажности исходного материала. Однако их применение в режиме предварительной очистки ограничено в связи с низким эффектом очистки зерна от крупных и мелких примесей из-за отсутствия соответствующих решётных рабочих органов. Для разделения зерна на фракции воздушным потоком используются универсальные воздушно-решётные зерноочистительные машины. Это высокопроизводительные двухаспирационные машины, первая аспирация которых выделяет из обрабатываемого материала лёгкие примеси, а вторая – фуражную фракцию, в которую входит щуплое, дроблёное и биологически неполноценное зерно. Применение данных машин в режиме предварительной очистки позволит снизить травмирование зерна, так как после выделения фуражной фракции на выходе получается более чистый материал, требующий меньшего числа операций по его дальнейшей очистке. При разработке новых воздушных систем машин предварительной очистки зерна, работающих по пневмофракционной технологии, необходимо в их конструкции учесть использование: диаметральных вентиляторов, так как они хорошо компонуются с другими элементами и создают равномерный воздушный поток по всей ширине, что положительно влияет на эффективность сепарации материала; пневмосепарирующих каналов с развитой нижней частью и оптимальными параметрами, соответствующими их удельной нагрузке, способствующих достижению максимальной эффективности выделения лёгких примесей и фуражного зерна. Выделение из зерна фуражной фракции до очистки на решетах снижает нагрузку на подсевные и сортировальные решета и повышает качество очищенного материала на выходе.

Ключевые слова: *зерно, послеуборочная обработка зерна, фракционная технология, аэродинамический сепаратор, травмирование зерна*

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).
Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Глушков А. Л. Анализ конструкций и технологического процесса зерноочистительных машин, работающих по пневмофракционной технологии (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):519–535. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.519-535

Поступила: 19.03.2025 Принята к публикации: 12.05.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Analysis of the design and technological process of grain cleaning machines operating on pneumatic fractional technology (review)

© 2025. Andrei L. Glushkov✉
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

Fractionation of grain heap at the pre-cleaning stage reduces the total energy consumption for grain processing and its injury by reducing the number of cleaning operations required to obtain high-quality seed material. The purpose of the review is to analyze the design and technological process of grain cleaning machines operating on the pneumatic fractional technology in order to identify promising areas of research in this field. It was found that grain pneumatic separators have a simple design and high productivity, which does not depend on the contamination and humidity of the source material. However, their use in the preliminary cleaning mode is limited due to the low effect of cleaning grain from coarse and fine impurities due to the lack of appropriate sieve working bodies. Universal air-sieve grain cleaning machines are used to separate grain into fractions by air flow. These are high-performance double-aspiration machines, the first aspiration of which separates light impurities from the processed material, and the second removes the forage fraction, which includes puny, crushed and biologically defective grain. The use of these machines in the pre-cleaning mode will reduce grain injury, since after separation of the forage fraction, a cleaner material is obtained at the outlet, requiring fewer operations for

further cleaning. When developing new air systems for grain pre-cleaning machines operating on the pneumatic fractional technology, it is necessary to take into account the use in their design of: cross flow fans, since they are well combined with other elements and create a uniform air flow across the entire width, which has a positive effect on the efficiency of material separation; aspiration channels with a developed lower part and optimal parameters corresponding to their specific load, contribute to achieving maximum efficiency in separating light impurities and forage grain. The separation of the forage fraction from grain before cleaning on sieves reduces the load on the sifting and grading sieves and improves the quality of the cleaned material at the outlet.

Keywords: *grain, post-harvest grain processing, fractional technology, aerodynamic separator, grain injury*

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 Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0002).

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: Glushkov A. L. Analysis of the design and technological process of grain cleaning machines operating on pneumatic fractional technology (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):519–535. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.519-535

Received: 19.03.2025 Accepted for publication: 12.05.2025 Published online: 30.06.2025

Главной задачей агропромышленного комплекса (АПК) Российской Федерации является удовлетворение потребности населения в продуктах питания и обеспечение продовольственной безопасности страны. Традиционно главным сектором агропромышленного комплекса является сельское хозяйство, основной отраслью которого и фундаментом АПК в целом – производство зерновых культур. За последние 10 лет производство сельскохозяйственной продукции в Российской Федерации выросло более чем на 30 %, а урожай зерновых в 2023 году стал вторым по объему в новой истории Российской Федерации после рекордного урожая 2022 года. По данным Росстата, в 2023 году валовой сбор зерна в весе после доработки составил 145 млн тонн, что ниже уровня 2022 года на 8 % (157,6 млн тонн)[1].

Стабильное наращивание объёма производства зерна является ключевой задачей АПК. В первую очередь, рост производства зерна должен обеспечиваться посредством повышения урожайности зерновых культур, нежели увеличением площадей посева.

Одной из причин невысокой урожайности зерновых является низкое качество посевного материала. По данным ФГБУ «Россельхозцентр», в нашей стране высевается порядка 20 % некондиционных по всхожести и засорённости семян яровых зерновых и зернобобовых культур[2].

Наличие некондиционных по всхожести семян не является следствием их биологической неполноценности. В качестве одной из причин снижения всхожести семян выступает высокий уровень их травмирования при уборке и послеуборочной обработке [1, 2]. Очень часто технологические линии не обеспечивают получение высококачественных семян за один пропуск, поэтому семенной материал через них приходится пропускать несколько раз [3, 4, 5, 6]. Известно, что за счёт воздействия рабочих органов и большой протяжённости технологической линии микротравмирование семян при каждом пропуске повышается на 20 % [7]. Суммарный уровень травмирования зерна при уборке и послеуборочной обработке нередко может доходить до 80…90 %. Установлено, что каждые 10 % травмированных семян снижают урожайность культур на 1,0…2,5 ц/га [2, 8].

На снижение всхожести семян также оказывает влияние несвоевременная обработка поступающего от комбайнов зернового вороха из-за недостаточной производительности зерноочистительных агрегатов. При высокой урожайности в хозяйствах наблюдаются большие «завалы» свежеубранного зернового вороха, который складируется и временно хранится на асфальтированных площадках зернотоков.

[1]Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года (с изменениями на 7 февраля 2025 года). Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 сентября 2022 года № 2567-р. [Электронный ресурс]. URL: http://government.ru/docs/all/143037/ (дата обращения: 06.03.2025).

[2]Качество семян яровых зерновых и зернобобовых культур в Российской Федерации по результатам мониторинга филиалами ФГБУ «Россельхозцентр» на 21 декабря 2022 года. Информационный листок Россельхозцентра № 13/2022 Исх. № 1-8/2666 от 22.12.2022 г. Российский Сельскохозяйственный центр. [Электронный ресурс]. URL: https://old.rosselhoscenter.ru/index.php/pressa/analitika?start=156 (дата обращения: 29.01.2025).

Кроме полноценного зерна, в таком ворохе содержатся биологически неполноценное и травмированное зерно основной культуры, семена различных культурных и сорных растений, а также примеси органического и минерального происхождения. Часть этих компонентов, а именно биологически неполноценное зерно и сорные примеси чаще всего обладают более высокой влажностью, которая быстро передаётся семенам основной культуры при совместном хранении. В результате семена самосогреваются, поражаются микроорганизмами, что приводит к ухудшению их посевных и продовольственных качеств [2, 6, 7, 9, 10]. Установлено, что в зерновом ворохе, содержащем 5…10 % сорной примеси, в 2…3 раза интенсивнее, чем при засоренности 1 %, развиваются плесневелые грибы, в 2…4 раза возрастает интенсивность дыхания и на 6…12 % снижается энергия прорастания семян [2].

Таким образом, чтобы при послеуборочной обработке зерна получить высококачественный семенной материал, необходимо снижать травмирование зерна рабочими органами зерноочистительных машин и транспортирующих устройств, незамедлительно очищать поступающий от комбайнов зерновой ворох от примесей, а также выделять щуплое, дроблёное и биологически неполноценное зерно с низкими посевными качествами [2, 6, 10, 11].

Решить данную задачу можно за счёт применения фракционной технологии послеуборочной обработки зернового вороха. При этой технологии зерновой ворох на первом этапе очищают от примесей и разделяют на семенную (полноценное зерно основной культуры) и фуражную (мелкое, щуплое, битое, дроблёное, биологически неполноценное зерно) фракции.

Далее происходит сушка семенной фракции с соблюдением мягких тепловых режимов, что положительно сказывается на качестве семян. Следует отметить, что по сравнению с поточной технологией послеуборочной обработки зернового вороха при фракционной в сушилку семенного зерна поступает более чистый материал, имеющий меньшую влажность. Фуражную фракцию можно направлять на сушку при более жёстком режиме, например, в барабанных сушилках, или плющение, что даёт возможность проводить консервацию кормов без операции сушки [12, 13]. Все это позволяет снизить суммарные энергозатраты на переработку зерна, сезонную нагрузку на сушилку семенного зерна и семяочистительные машины и при этом повысить производительность всего комплекса [14, 15, 16, 17]. Кроме того, поступающий на окончательную обработку более чистый семенной материал позволяет сократить число операций по его очистке. При этом существенно уменьшается количество механических воздействий на семена и соответственно их травмирование [4, 5, 11, 15].

Одним из наиболее эффективных способов разделения зернового материала на фракции является пневмофракционирование (разделение на фракции воздушным потоком). Этот способ имеет ряд преимуществ по сравнению с разделением на решётах: простота конструкции; высокая удельная производительность, которая не зависит от засорённости и влажности зернового материала; возможность выделения фракции семян с более высокой всхожестью; низкая травмируемость зерна при обработке [13, 14, 17, 18].

Цель обзора – анализ конструкций и технологического процесса зерноочистительных машин, работающих по пневмофракционной технологии, для выявления перспективных направлений исследований в этой области.

Материал и методы. Материалом для анализа служили научные труды отечественных учёных, а также веб-сайты известных производителей зерноочистительной техники. Поиск научных работ проводили путем мониторинга библиографических баз данных, научных электронных библиотек с поисковыми системами: Web of Science; Scopus; eLIBRARY.RU; Cyberleninka; Google Scholar. Критериями отбора служили ключевые слова: фракционная технология; фракционирование зернового материала; пневмосепаратор; аэродинамический сепаратор; воздушный сепаратор; ворохоочиститель; фракционер; зерноочистительная машина; воздушно-решётная машина; post-harvest grain processing; fractional technology; grain cleaning machine; air separator. В соответствии с целью обзора отобраны и изучены данные 30 источников, большинство из которых опубликовано за последние десять лет. В исследовании применяли методы комплексного изучения, сравнения, обобщения и анализа данных.

Основная часть. *Анализ конструкций и технологического процесса пневмосепараторов зерна.* Пневмосортировальные машины семейства ПСМ[3] [19] (рис. 1) (ПСМ-0,5М,

[3]Стационарные пневмосортировальные машины. АО «Кузембетьевский РМЗ». [Электронный ресурс]. URL: https://k-rmz.ru/catalog/stacionarnye/ (дата обращения: 03.02.2025).

ПСМ-2,5М, ПСМ-5М, ПСМ-10М) (АО «Кузембетьевский РМЗ», Россия) производительностью от 0,5 до 10 т/ч предназначены для вторичной очистки семян различных сельскохозяйственных культур от трудноотделимых примесей, щуплого, дроблёного и биологически неполноценного зерна, очистки продовольственного зерна

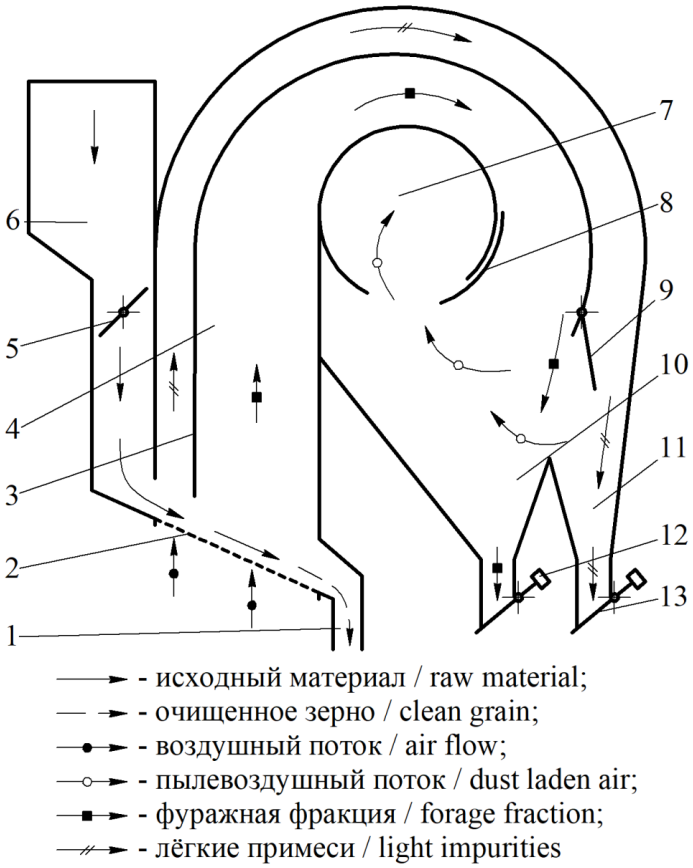


Рис. 1. **Технологическая схема пневмосортировальных машин семейства ПСМ: 1, 12, 13 – устройства вывода фракций; 2 – опорная сетка; 3 – разделительная стенка; 4 – пневмосортировальный канал; 5 – регулятор подачи зерна; 6 – приёмный бункер; 7 – выходной патрубок; 8, 9 – дроссельные заслонки; 10, 11 – осадочные камеры /**

Fig. 1. **Technological scheme of pneumatic sorting machines of the PSM family: 1, 12, 13 – fraction outlet devices; 2 – support grid; 3 – dividing wall; 4 – pneumatic sorting channel; 5 – grain feed regulator; 6 – inlet hopper; 7 – outlet pipe; 8, 9 – throttle valves; 10, 11 – sedimentation chambers**

Машина ПСМ состоит из приёмного бункера 6 с регулятором подачи зерна 5, пневмосортировального канала 4 с опорной сеткой 2, разделённого стенкой 3 на две части, осадочных камер 10 и 11, устройств для вывода полученных фракций 1, 12, 13, дроссельных заслонок 8, 9, радиального вентилятора (на рисунке не показан), присоединённого к выходному патрубку 7. Для очистки отработанного воздуха от пыли комплектуется тканевым фильтром.

На опорной сетке 2 пневмосортировального канала 4 под действием воздушного потока исходный материал делится на три фракции: лёгкие примеси; фуражное зерно (щуплое, дроблёное и биологически неполноценное); очищенное зерно. Очищенное зерно через устройство 1 выводится за пределы машины. Лёгкие примеси транспортируются первой частью пневмосортировального канала 4 в осадочную камеру 11, а фуражная фракция поступает в камеру 10 через вторую часть канала 4.

Машины семейства ПСМ обладают низкой степенью травмирования зерна, высокой эффективностью очистки за счёт большой глубины пневмосортировального канала и наличия опорной сетки, увеличивающих время взаимодействия воздушного потока с материалом. К недостаткам можно отнести использование для очистки отработанного воздуха тканевого фильтра, который в процессе работы периодически забивается, что приводит к необходимости его обслуживания. Кроме того, радиальный вентилятор создает неравномерный поток воздуха по ширине машины.

Аэродинамические сепараторы семейства САД[4] [20, 21] (рис. 2) позиционируются производителем (ООО «НПФ «Аэромех», Россия) как универсальные, то есть способные работать в режимах предварительной, первичной и вторичной (финишной) очистки зерна и семян различных культур от примесей и неполноценного зерна воздушным потоком. В модельный ряд данных сепараторов входят машины производительностью в режиме первичной очистки зерна от 4 до 150 т/ч (САД-4, САД-5, САД-10, САД-15, САД-30, САД-50, САД-100, САД-150).

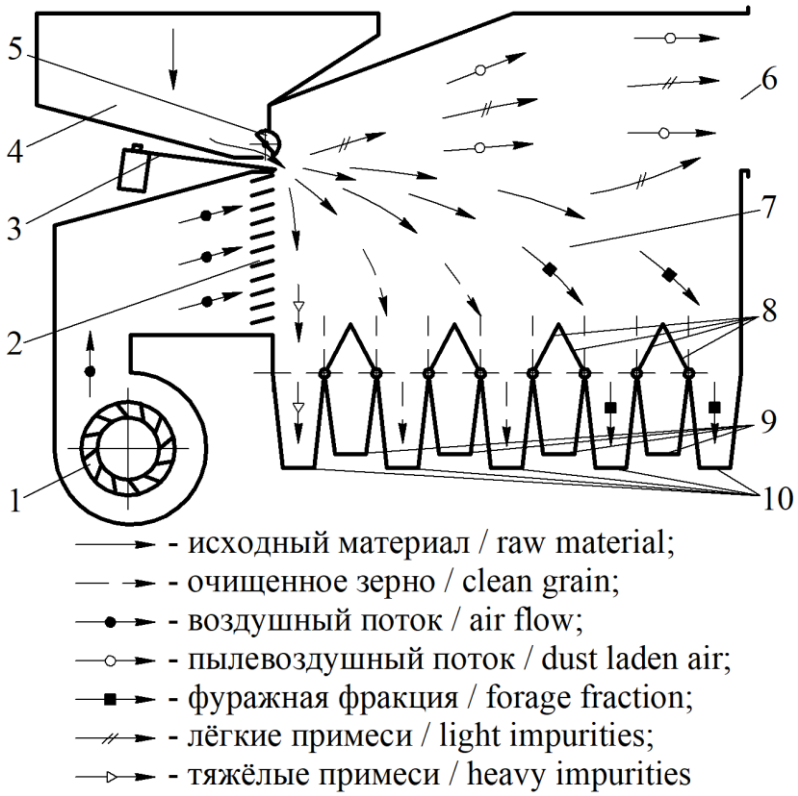


Рис. 2. **Технологическая схема аэродинамического сепаратора семейства САД: 1 – вентилятор; 2 – струйный генератор; 3 – вибролоток; 4 – бункер; 5 – регулятор подачи зерна; 6 – выходной патрубок; 7 – камера сепарации; 8 – поворотные шторки; 9 – приёмники промежуточных фракций; 10 – приёмники основных фракций /**

Fig. 2. **Technological scheme of the aerodynamic separator of the SAD family: 1 – fan; 2 – jet generator; 3 – vibrating chute; 4 – hopper; 5 – grain feed regulator; 6 – outlet pipe; 7 – separation chamber; 8 – rotary flaps; 9 – intermediate fraction receivers; 10 – basic fractions receivers**

Сепаратор САД состоит из бункера 4 с регулятором подачи 5 и вибролотком 3, радиального вентилятора 1, струйного генератора 2, камеры сепарации 7, выходного патрубка 6, приёмников основных 10 и промежуточных 9 фракций с поворотными шторками 8. Скорость воздушного потока в камере сепарации 7 регулируется за счёт изменения частоты вращения колеса вентилятора 1. Чёткость разделения материала на фракции регулируется за счёт изменения скорости воздушного потока и положения поворотных шторок 8 приёмников фракций 9 и 10.

При работе сепаратора материал, поступающий из бункера 4 в камеру сепарации 7, под действием воздушных потоков, создаваемых вентилятором 1 и подготовленных струйным генератором 2, расслаивается в ней по аэродинамическим свойствам и делится на четыре фракции: тяжёлые примеси; очищенное зерно; фуражное зерно (щуплое, дроблёное и биологически неполноценное); лёгкие примеси. Полученные фракции, кроме лёгких примесей, поступают в соответствующие приёмники 10. Отработанный воздух вместе с лёгкими примесями удаляется из камеры сепарации 7 через выходной патрубок 6. При высокоточной очистке часть зерна отправляется через приёмники промежуточных фракций 9 в бункер возврата, а оттуда снова в бункер 4 с целью повторной обработки.

[4]Аэродинамические сепараторы «САД» от производителя НПФ «АЭРОМЕХ». [Электронный ресурс]. URL: https://rosaeromeh.ru/ (дата обращения: 04.02.2025).

Сепаратор имеет высокое качество очистки зерна благодаря равномерной тонкослойной подаче, большим размерам камеры сепарации, струйному воздействию воздушного потока и повторной обработке промежуточных фракций материала. К недостаткам можно отнести сложность технологической настройки, большие габаритные размеры по высоте (до 3,85 м) и длине (до 3,83 м), высокую установленную мощность электродвигателей (до 31 кВт).

Аналогичное устройство и принцип работы имеют производимые в России аэродинамические сепараторы: Алмаз[5] [22] (Алмаз МС-4/2, Алмаз МС-10/5, Алмаз МС-20/10, Алмаз МС-40/20, Алмаз МС-50/30, Алмаз МС-100/70) (ООО «Алмазсельмаш») производительностью при очистке продовольственного зерна от 4 до 100 т/ч, семян – от 2 до 70 т/ч; Класс[6] (Класс 15МС5, Класс 25МС10, Класс 30МС10, Класс 50МС20) (ООО «Виктория») производительностью при очистке продовольственного зерна от 15 до 50 т/ч, семян – от 5 до 20 т/ч; Inventum[7] (Inventum-5, Inventum-15 и Inventum-50) (Завод «Alter Bis») производительностью при очистке продовольственного зерна от 20 до 60 т/ч, семян – от 2,5 до 7 т/ч. Зарубежными аналогами сепараторов САД являются аэродинамические сепараторы ASM[8] (ASM-70i, ASM-100i, ASM-301, ASM-601i) (ASM TECHNOLOGY Sp. z o.o., Польша), способные работать в режимах предварительной (до 100 т/ч), первичной (до 60 т/ч) и вторичной (до 30 т/ч) очистки зерна, а также сепараторы SA 60, SA 100, SA 150 и SA 200[9] (Zanin S.r.l., Италия) производительностью от 1,2 до 12 т/ч.

Для улавливания лёгких примесей и пыли из отработанного воздуха сепараторы Класс имеют осадочную камеру, а Inventum – циклон. Сепараторы САД, Алмаз и ASM по желанию заказчика дополнительно комплектуются циклонами. В качестве генератора воздушного потока в пневмосепараторах Класс используется диаметральный вентилятор.

Пневмосепараторы получили широкое распространение за счёт относительно низкой цены и простоты конструкции, при высокой производительности, практически не зависящей от влажности и засорённости обрабатываемого материала. Основным их недостатком является невысокий эффект очистки зернового материала от крупных и мелких примесей из-за отсутствия соответствующих решётных рабочих органов. Поэтому использование пневмосепараторов в режиме предварительной очистки свежеубранного вороха ограничено. Их место в системе послеуборочной обработки зерна – это финишная воздушная очистка при подготовке семян.

Анализ конструкций и технологического процесса воздушно-решётных зерноочистительных машин. Устранить основной недостаток пневмосепараторов позволяет использование при очистке зерна воздушно-решётных машин. Одними из представителей данных машин являются очистители-сепараторы для предварительной очистки зерна NSD1, NSD2 и NSD3[10] (Denis, Франция) производительностью 25, 50, и 100 т/ч соответственно [23].

Очиститель-сепаратор NSD2 (рис. 3) содержит воздушную систему и решётную часть. Воздушная система двухаспирационная разомкнутого типа состоит из приёмного устройства 5 с распределительным лотком 4, вертикальных пневмосепарирующих каналов (ПСК) 6 и 16, нижние части которых выполнены наклонными, осадочных камер 7 и 14 с устройствами вывода фракций 8 и 15, всасывающего канала 12 с заслонкой 11, радиального вентилятора (на рисунке не показан), присоединённого к выходному патрубку 10. В ПСК 6 первой аспирации происходит очистка обрабатываемого материала от лёгких примесей и пыли до решёт, в ПСК 16 второй аспирации – окончательная очистка материала от оставшихся лёгких примесей, а также щуплого, дроблёного и биологически неполноценного зерна (фуражной фракции) после решёт. Скорость воздушного потока в ПСК 6 и 16 регулируется с помощью заслонок 9 и 13. Для очистки отработанного воздуха от пыли сепаратор снабжён системой очистки, состоящей из воздуховодов и циклона.

[5]Каталог машин для очистки зерна Алмаз. [Электронный ресурс]. URL: https://almazselmash.ru/production.php (дата обращения: 04.02.2025).
[6]Универсальные зерноочистительные машины Класс. [Электронный ресурс]. URL: https://viktoriarostov.ru/ochistka-zerna?ysclid=m7oovisu1i678994197#rec415504083 (дата обращения: 05.02.2025).
[7]Аэродинамические сепараторы для очистки зерна. [Электронный ресурс]. URL: https://alterbis.ru/product-category/zernoochistitelnye-mashiny/aeroseparatory/ (дата обращения: 05.02.2025).
[8]Сепараторы аэродинамические ASM. [Электронный ресурс]. URL: https://asmtechnology.eu/wp-content/uploads/2024/03/Prezentacja-RU.pdf (дата обращения: 05.02.2025).
[9]Сепараторы аэродинамические ASM. [Электронный ресурс]. URL: https://asmtechnology.eu/wp-content/uploads/2024/03/Prezentacja-RU.pdf (дата обращения: 05.02.2025).
[10]Cleaners NSD 1, 2 & 3. [Электронный ресурс]. URL: https://www.denis.fr/media/nsd1_2_3_0220_en.pdf (дата обращения: 11.02.2025).

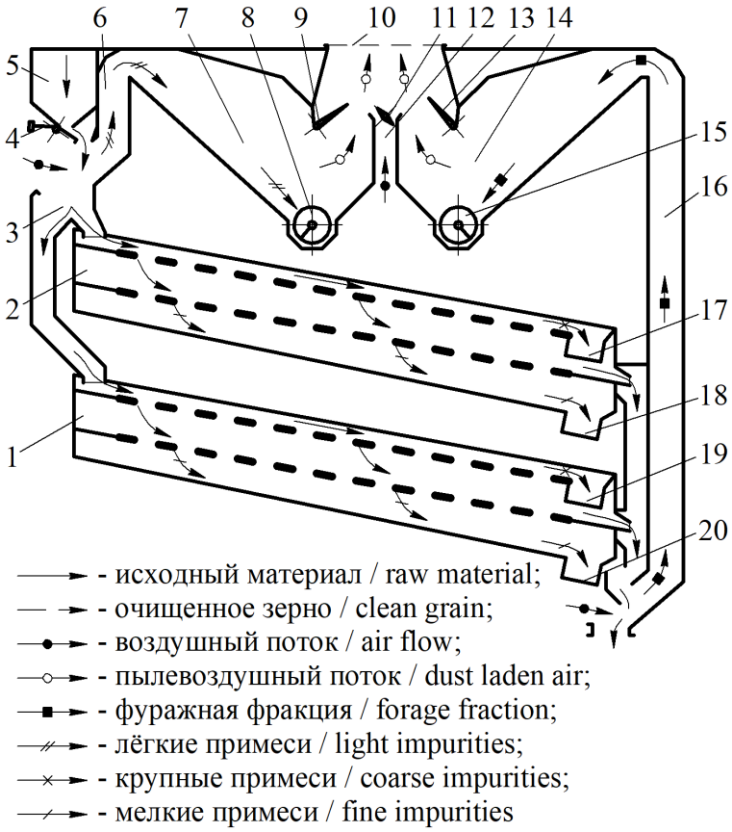


Рис. 3. **Технологическая схема очистителя-сепаратора NSD2: 1, 2 – решётные станы; 3 – делитель; 4 – распределительный лоток; 5 – приёмное устройство; 6, 16 – пневмосепарирующие каналы; 7, 14 – осадочные камеры; 8, 15 – устройства вывода фракций; 9, 11, 13 – заслонки; 10 – выходной патрубок; 12 – воздухозаборный канал; 17, 18, 19, 20 – приёмники фракций /**

Fig. 3. **Technological scheme of the NSD2 cleaner-separator: 1, 2 –sieve boots; 3 – divider; 4 – distribution chute; 5 – receiving device; 6, 16 – aspiration channels; 7, 14 – sedimentation chambers; 8, 15 – fraction outlet devices; 9, 11, 13 – dampers; 10 – outlet pipe; 12 – air intake channel; 17, 18, 19, 20 – fraction receivers**

Воздухозаборный канал 12 с заслонкой 11 служит для дополнительного регулирования скорости воздушного потока в ПСК 6 и 16, а также повышения эффективности системы очистки отработанного воздуха. При очистке семян с низкими скоростями витания, например, семян трав, заслонку 11 открывают, и в циклон поступает дополнительный объём воздуха для обеспечения высоких скоростей потока, необходимых для максимальной эффективности очистки отработанного воздуха от пыли. Кроме того, данный канал позволяет частично снизить концентрацию запыленности воздуха рабочей зоны сепаратора.

Решётная часть состоит из двух параллельно работающих станов 1 и 2, где из зернового материала выделяются крупные и мелкие примеси.

Двукратная обработка зернового материала воздушным потоком до и после решёт способствует более полному выделению лёгких примесей, а работа вентилятора на всасывание обеспечивает обеспыливание мест выхода фракций материала. К недостаткам можно отнести низкую эффективность выделения лёгких примесей в первой (дорешетной) аспирации из-за конструкции ПСК, что в ряде случаев может привести к необходимости дополнительной очистки фуражной фракции от лёгких примесей. Кроме того, при параллельной работе двух ПСК от одного радиального вентилятора усложняется настройка их на технологический режим и снижается качество очистки зерна вследствие взаимного влияния друг на друга в процессе работы. Очистители-сепараторы NSD2 и NSD3 имеют большие габаритные размеры по высоте (3,09…4,23 м).

Полным аналогом сепаратора NSD2 является выпускаемый в России очиститель-сепаратор S-50[11] (ООО «РусМашАгро»), предназначенный для предварительной (до 65 т/ч) и первичной (до 50 т/ч) очистки зерна.

[11]RMA Очиститель Сепаратор S-50. [Электронный ресурс]. URL: https://rma-vrn.ru/ (дата обращения: 13.02.2025).

Идентичную сепаратору NSD2 конструкцию воздушной системы имеет зерноочистительная машина GrainMax-50[12] (Полымя, Республика Беларусь), способная работать в режимах предварительной (до 50 т/ч), первичной (до 30 т/ч) и вторичной (до 5 т/ч) очистки зерна.

Аналогичную воздушную систему имеют также универсальные воздушно-решётные сепараторы линейки МУЗ[13] (МУЗ-4, МУЗ-8 и МУЗ-16) (Полымя, Республика Беларусь) производительностью в режиме предварительной очистки зерна от 25 до 100 т/ч [24], а также некоторые модели очистителей компании Cimbria (Дания), например, машина предварительной очистки зерна производительностью до 100 т/ч Delta 146[14] [21, 25]. Отличия их воздушных систем от очистителей-сепараторов NSD заключаются в том, что пневмосепарирующий канал первой (дорешётной) аспирации выполнен наклонным и отсутствует воздухозаборный канал.

Универсальный очиститель U15[15] (PETKUS Technologie GmbH, Германия) предназначен для предварительной (до 60 т/ч), первичной (до 30 т/ч) и вторичной (до 15 т/ч) очистки зерна [26, 27]. Состоит из воздушной системы и решётной части.

Воздушная система очистителя состоит из приёмного бункера с активным питающим устройством (профилированный валик с качающейся заслонкой), вертикальных ПСК дорешётной и послерешётной аспирации, двух осадочных и расположенной между ними промежуточной камер, устройств вывода фракций. Воздушная система может быть соединена как с отдельно установленным радиальным вентилятором, так и с центральной аспирационной системой. Очистка отработанного воздуха от пыли происходит в циклонах. Скорость воздушного потока в ПСК регулируется шиберными заслонками, установленными на окнах смежных стенок между осадочными и промежуточной камерами. На верхних стенках осадочных камер находятся воздухозаборные клапаны, которые предназначены для дополнительного регулирования скорости воздушного потока в ПСК, а также повышения эффективности системы очистки отработанного воздуха (аналогично воздухозаборным каналам очистителей-сепараторов NSD) при очистке семян с низкими скоростями витания, например, семян трав. Технологические процессы воздушных систем универсального очистителя U15 и рассмотренного ранее очистителя-сепаратора NSD2 аналогичны.

Решётная часть состоит из двух последовательно работающих станов, на которых из обрабатываемого материала выделяются крупные и мелкие примеси, а также мелкое зерно.

Достоинства очистителя – универсальность, высокая производительность и хорошее качество очистки за счёт использования активного питающего устройства и двукратной обработки зернового материала воздушным потоком до и после решёт. Установка вентилятора за пределами очистителя позволяет снизить уровень шума и запылённость в рабочей зоне, но приводит к увеличению металлоёмкости и установленной мощности (до 18 кВт). Недостатки – сложность настройки воздушной системы из-за параллельной работы двух ПСК от одного вентилятора, значительную протяжённость её элементов, использование в качестве генератора воздушного потока радиального вентилятора и большую высоту очистителя (3,39 м).

Воздушная система универсального очистителя U15 является глубоко модернизированной пневмосистемой выпускавшейся ранее машины предварительно-первичной очистки зерна К-527 (PETKUS Technologie GmbH, Германия), пользующейся в нашей стране большой популярностью и в настоящее время. На данный момент в России выпускаются полные аналоги машины К-527, не уступающие ей по характеристикам. Это воздушно-решётная

[12]Машина зерноочистительная GrainMax. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.polymya.com/rus/catalog/separatory-zernoochistitelnye-mashiny/mashina-zernoochistitelnaya-grainmax/ (дата обращения: 13.02.2025).
[13]Воздушно-решётные сепараторы МУЗ. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.polymya.com/rus/catalog/separatory-zernoochistitelnye-mashiny/vozdushno-reshetnye-separatory-muz/ (дата обращения: 13.02.2025).
[14]COMBI CLEANER DELTA 146. [Электронный ресурс]. URL: https://www.cimbria.com/content/dam/public/grain-and-protein/cimbria/data-sheets/screen-cleaner/140/Combi_Cleaner_146_Datasheet_EN.pdf (дата обращения: 13.02.2025).
[15]Незаменимая машина для подготовки семян и зерна. Petkus. [Электронный ресурс]. URL: https://www.petkus.com/ru/produkcija/sortirovka/ochistiteli/detaljakh/show-product/2147?cHash=4b165b6ac3f555f5be07c33aa490ba47 (дата обращения: 14.02.2025).

машина ВРМ-К 52.7[16] (70 т/ч) (ООО «Завод Воронеж Агромаш») и воздушно-решётная машина ВРМ-70[17] (70 т/ч) (ООО «Воронеж-агротехсервис»).

Аналогичную U15 воздушную систему имеют очистители зерна серий A, M и V (PETKUS Technologie GmbH, Германия), сепаратор предварительной и первичной очистки М-150[18] (KOBLiK GROUP, Россия) производительностью в режиме предварительной очистки до 120 т/ч, а также универсальные сепараторы зерна серии «Mega»[19] (Mega 12-3/2, Mega 15-3/2, Mega 12-5/2, Mega 15-5/2) (холдинг «АМКОДОР», Республика Беларусь) производительностью в режиме предварительной очистки от 40 до 80 т/ч.

К зерноочистительным машинам, работающим по пневмофракционной технологии, можно отнести машины первичной очистки зерна ЗМ[20] (ООО НПФ Агромаш, Россия) (ЗМ-20-Ф5, ЗМ-40-Ф5, ЗМ-60-Ф5, ЗМ-80-Ф5, ЗМ-90-Ф5, ЗМ-120-Ф5) производительностью от 20 до 120 т/ч.

Машина ЗМ-20-Ф5 (рис. 4) содержит воздушную и решётную части.

Воздушная часть состоит из приёмного бункера 6 с установленными в нем планками и рассекателями, предназначенными для равномерного распределения материала по ширине машины, и двух, работающих независимо друг от друга, воздушных систем разомкнутого типа, каждая из которых имеет свой вертикальный пневмосепарирующий канал 8 (14), осадочную камеру 7 (11) с устройством вывода фракций 5 (12) и радиальный вентилятор (на рисунке не показан), присоединенный к выходному патрубку 9 (10). В первой воздушной системе происходит очистка материала от лёгких примесей и пыли до решёт, а во второй – окончательная очистка материала от оставшихся лёгких примесей, а также щуплого, дроблёного и биологически неполноценного зерна (фуражная фракция) после решёт. Очистка отработанного воздуха от пыли происходит в циклонах.

Решётная часть предназначена для разделения зерна и примесей по размерам. Состоит из двух последовательно работающих станов 2 и 4, на которых из обрабатываемого материала выделяются крупные и мелкие примеси, а также мелкое зерно.

Основным достоинством машины является применение двух воздушных систем, каждая из которых снабжена своим радиальным вентилятором, что обеспечивает независимую их работу и быструю настройку на технологический режим. За счёт отсутствия дозирующих рабочих органов в приёмном бункере он не забивается зерном и, следовательно, не забивается загрузочная нория, что упрощает эксплуатацию машины и снижает травмирование зерна. Пневмосепарирующий канал первой (дорешётной) воздушной системы полноразмерный и имеет хорошо развитую нижнюю часть, благодаря чему повышается эффективность выделения лёгких примесей. К недостаткам можно отнести использование в качестве генераторов воздушного потока радиальных вентиляторов и большие габаритные размеры машины по высоте (3,21 м). Кроме того, применение двух вентиляторов усложняет конструкцию и увеличивает удельные затраты энергии на процесс очистки зерна.

Аналогичную воздушную систему имеют машины первичной очистки зерна ЗМ-20ФН, ЗМ-40ФН, ЗМ-60ФН[21] (ООО «Новосибирсксельмаш», Россия) производительностью от 20 до 60 т/ч.

Универсальные высокопроизводительные сепараторы серии TAS[22] (Buhler GmbH, Германия) (TAS 152A-2, TAS 154A-4, TAS 204A-4, TAS 206A-6) работают в режимах предварительной и первичной очистки зерна [25, 26, 28]. Производительность сепараторов в режиме предварительной очистки – от 60 до 250 т/ч.

[16]Воздушно-решётная машина ВРМ-К 52.7. [Электронный ресурс]. URL: https://agrosplus.ru/oborudovanie/ochistka-zerna/vozdushno-reshyetnaya-mashina/ (дата обращения: 17.02.2025).
[17]Воздушно-решётная машина ВРМ-70. [Электронный ресурс]. URL: https://воронежагротехсервис.рф/vrm-70 (дата обращения: 17.02.2025).
[18]Машины для зерноочистки. Серия М. [Электронный ресурс]. URL: https://koblik.ru/katalog/mashiny-dlya-zernoochistki/OMEGA/ (дата обращения: 17.02.2025).
[19]Сепараторы зерна универсальные серии «MEGA». [Электронный ресурс]. URL: https://amkodor-zsk.by/products/ochistka/mega.html?ysclid=m7u3hpv0a8431491940 (дата обращения: 17.02.2025).
[20]Машины первичной очистки зерна. [Электронный ресурс]. URL: https://agronsk.ru/tehnika-dlya-ochistki-zerna/zernoochistitel-nye-mashiny/mashiny-pervichnoy-ochistki-zerna/ (дата обращения: 19.02.2025).
[21]Зерноочистительные машины. [Электронный ресурс]. URL: https://nsksm.ru/category/zernoochistitelnye-mashiny/ (дата обращения: 19.02.2025).
[22]Universal cleaning machine TAS. [Электронный ресурс]. URL: https://www.buhlergroup.com/global/ru/products/universal_cleaningmachine.html (дата обращения: 19.02.2025).

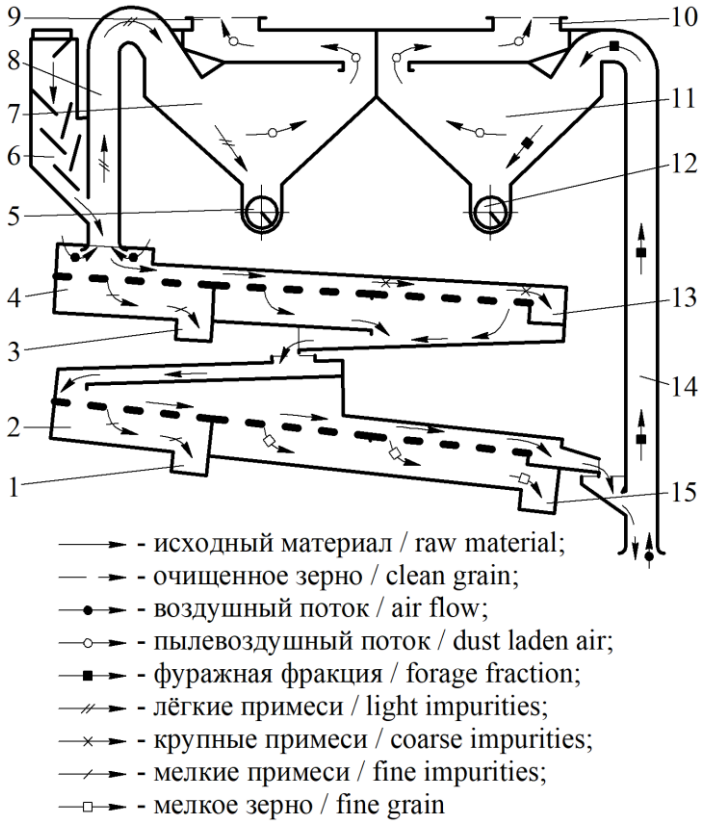


Рис. 4. **Технологическая схема машины первичной очистки зерна ЗМ-20-Ф5: 1, 3, 13, 15 – приёмники фракций; 2, 4 – решётные станы; 5, 12 – устройства вывода фракций; 6 – приёмный бункер; 7, 11 – осадочные камеры; 8, 14 – пневмосепарирующие каналы; 9, 10 – выходные патрубки /**

Fig. 4. **Technological scheme of the ZM-20-F5 grain primary cleaner: 1, 3, 13, 15 – fraction receivers; 2, 4 – sieve boots; 5, 12 – fraction outlet devices; 6 – inlet hopper; 7, 11 – sedimentation chambers; 8, 14 – aspiration channels; 9, 10 – outlet pipes**

Сепаратор TAS 152A-2 (рис. 5) состоит из воздушной системы замкнуто-разомкнутого типа и решётной части. Воздушная система содержит приёмный бункер 6 с распределительной заслонкой 4, пневмосепарирующие каналы 5 и 14, осадочные камеры 8 и 12 с устройствами вывода фракций 7 и 13, перепускного канала 9 с заслонкой 10. К выходному патрубку 11 подключается отдельно работающий радиальный вентилятор.

Процесс работы воздушной системы сепаратора TAS 152A-2 отличается от рассмотренного ранее технологического процесса пневмосистемы очистителя-сепаратора NSD2 тем, что все элементы воздушной системы подключены друг к другу последовательно. Воздушный поток, засасываемый из атмосферы, последовательно движется через ПСК 14 второй (послерешётной) аспирации, осадочную камеру 12, ПСК 5 первой (дорешётной) аспирации, осадочную камеру 8, а затем через выходной патрубок 11 удаляется из сепаратора. Скорость воздушного потока в ПСК 5 регулируется дроссельной заслонкой 10 за счёт изменения объёма воздуха, проходящего через перепускной канал 9. Очистка отработанного воздуха от пыли происходит в установленных отдельно от сепаратора циклонах или фильтрующей установке.

Решётная часть состоит из ситового короба 1, на решётах которого материал очищается от крупных и мелких примесей.

Основные достоинства сепаратора – универсальность, высокая производительность и конструкция воздушной системы, позволяющая обеспечить двойную аспирацию обрабатываемого материала (до и после решёт) без увеличения объёма воздуха. Недостатки – сложность компоновки элементов воздушной системы и её большая протяжённость, большие габаритные размеры самого сепаратора по высоте (до 4,36 м) и его масса (4,5…8,5 т). Так как для очистки обрабатываемого материала в ПСК первой аспирации используется отработанный воздух из второй аспирации, то это приводит к небольшому засорению зерна циркулирующими вместе с воздушным потоком не уловленными примесями.

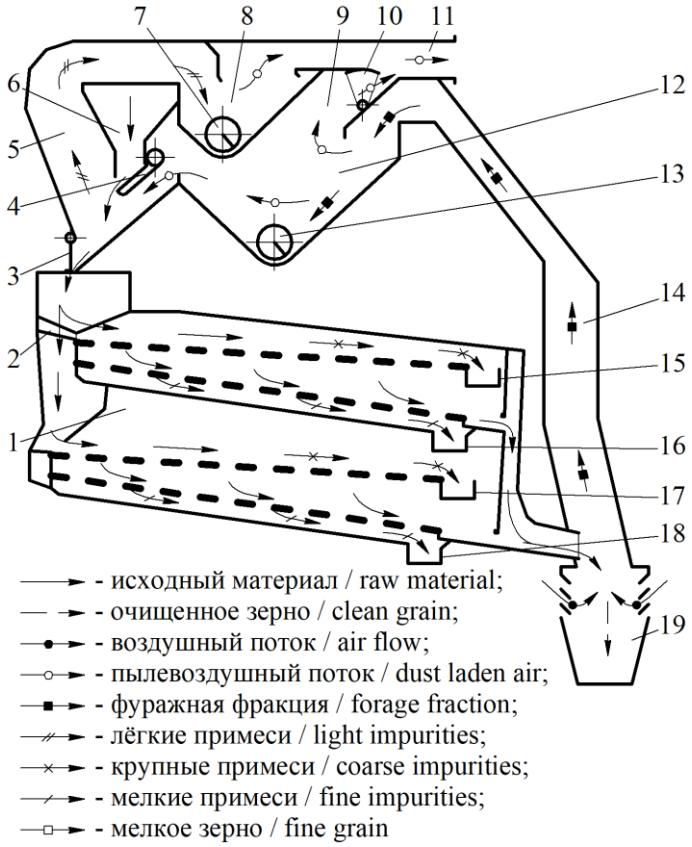


Рис. 5. **Технологическая схема универсального сепаратора TAS 152A-2: 1 – ситовой короб; 2 – распределитель зерна; 3 – клапан; 4 – распределительная заслонка; 5, 14 – пневмосепарирующие каналы; 6 – приёмный бункер; 7, 13, 19 – устройства вывода фракций; 8, 12 – осадочные камеры; 9 – перепускной канал; 10 – дроссельная заслонка; 11 – выходной патрубок; 15, 16, 17, 18 – приёмники фракций /**

Fig. 5. **Technological scheme of the universal separator TAS 152A-2: 1 – sieve box; 2 – grain distributor; 3 – flap; 4 – distribution valve; 5, 14 – aspiration channels; 6 – inlet hopper; 7, 13, 19 – fraction outlet devices; 8, 12 – sedimentation chambers; 9 – bypass channel; 10 – throttle valve; 11 – outlet pipe; 15, 16, 17, 18 – fraction receivers**

В России ряд предприятий выпускают полные аналоги сепараторов TAS. Это, в первую очередь, компания KOBLiK GROUP и её высокопроизводительные сепараторы серии UNIVERSAL[23] (U-60, U-120, U-160, U-250) производительностью в режиме предварительной очистки от 60 до 250 т/ч. Аналогами сепараторов TAS также являются универсальные воздушно-решётные машины Dogma 120, Dogma 160 и Dogma 250[24] (ООО «Завод Воронеж Агромаш», Россия), универсальные сепараторы серии GRAINSTORM[25] (GS-60, GS-100, GS-160) (Группа компаний «Эксперт-Агро», Россия), сепаратор воздушно-решетный СВР-60[26] (холдинг «АМКОДОР», Республика Беларусь), универсальная очистительная машина УОМ-160[27] (Комплекс АГРО, Россия); высокопроизводительные сепараторы МОР 120, МОР 160, МОР 240[28] (Molinus, Турция).

[23]Машины для зерноочистки. Серия UNIVERSAL. [Электронный ресурс]. URL: https://koblik.ru/katalog/mashiny-dlya-zernoochistki/UNIVERSAL/?ysclid=m7bsy9rdjm36967621 (дата обращения: 19.02.2025).
[24]Очистка зерна. [Электронный ресурс]. URL: https://agrosplus.ru/oborudovanie/ochistka-zerna/# (дата обращения: 19.02.2025).
[25]Зерноочистительные машины GRAINSTORM. [Электронный ресурс]. URL: https://expert-agro.ru/sobstvennaja-produkcija/zernoochistitelnye-mashiny/grainstorm/ (дата обращения: 19.02.2025).
[26]Сепаратор воздушно-решётный СВР-60 (первичная очистка). [Электронный ресурс]. URL: https://tdamkodoragro.by/catalog/cleaning-and-sorting/svr-60 (дата обращения: 19.02.2025).
[27]Универсальная очистительная машина. [Электронный ресурс]. URL: https://kompleksagro.ru/uom (дата обращения: 19.02.2025).
[28]High Capacity Grain Separator MOP. [Электронный ресурс]. URL: https://www.molinus.com.tr/high-capacity-grain-separator-mop (дата обращения: 19.02.2025).

Фракционный очиститель зерна ОЗФ-80[29] (ООО «Осколсельмаш», Россия) – это универсальная зерноочистительная машина, предназначенная для предварительной (до 80 т/ч), первичной (до 40 т/ч) и вторичной (до 20 т/ч) очистки зерна [26, 27, 29, 30]. Состоит из воздушной системы и решётной части.

Воздушная система содержит два параллельно работающих вертикальных пневмосепарирующих канала дорешётной аспирации с размещёнными между ними приёмно-питающим устройством и делителем потока, вертикальный ПСК послерешётной аспирации, две осадочные камеры с устройствами вывода фракций, диаметральный вентилятор. Процесс работы схож с рассмотренным ранее технологическим процессом воздушной системы очистителя-сепаратора NSD2. Скорость воздуха в ПСК регулируется путём изменения частоты вращения колеса вентилятора. В пневмосепарирующих каналах первой аспирации скорость воздушного потока дополнительно регулируется заслонками, изменяющими величину открытия всасывающих окон, расположенных с боковых сторон ПСК.

Решётная часть состоит из двух параллельно работающих станов, на которых из материала выделяются крупные и мелкие примеси, а также фракция мелкого зерна.

Основные достоинства фракционного очистителя – универсальность и производительность. Кроме того, использование диаметрального вентилятора, создающего равномерный поток воздуха по всей ширине пневмосистемы, оказывает положительное влияние на эффективность сепарации материала. Два параллельно работающих ПСК в дорешётной аспирации повышают эффективность выделения лёгких примесей. Способ регулирования скорости воздуха в ПСК частотой вращения колеса вентилятора является наиболее экономичным. Недостатки – необходимость установки дополнительного оборудования для очистки отработанного воздуха, а также неудачный подвод воздуха в ПСК дорешётной аспирации и регулирование скорости воздуха в них с помощью боковых всасывающих окон, нарушающих равномерность поля скоростей в зоне сепарации.

Воздушные системы очистителей ОЗФ-50 и ОЗФ-25 (ООО «Осколсельмаш», Россия) отличаются от ОЗФ-80 тем, что в дорешётной аспирации имеют один пневмосепарирующий канал.

Воздушную систему, аналогичную ОЗФ-80, имеет универсальная воздушно-решётная зерноочистительная машина Аврора-80[30] (Волгоградский Завод Элеваторного Оборудования, Россия).

Воздушные системы, аналогичные ОЗФ-50 и ОЗФ-25, имеют: универсальные сепараторы SU-20 и SU-60[31] (Centurion, Россия) производительностью в режиме предварительной очистки зерна 20 и 60 т/ч соответственно; универсальные сепараторы УС-20С, УС-40С и товарный сепаратор «Аструм СТ-45»[32] (Группа компаний Gradebel, Республика Беларусь) производительностью в режиме предварительной очистки зерна 20, 60 и 60 т/ч соответственно. Отличие их воздушных систем от ОЗФ-50 – пневмосепарирующий канал дорешётной аспирации наклонный.

Универсальный сепаратор УС-130[33] (рис. 6) (Группа компаний Gradebel, Республика Беларусь) предназначен для предварительной (до 120 т/ч), первичной (до 90 т/ч) и вторичной (до 40 т/ч) очистки зерна. Содержит воздушную и решётную части.

Воздушная часть состоит из приёмного бункера 5 с регулятором подачи зерна 4 и двух работающих независимо друг от друга воздушных систем, каждая из которых имеет свой пневмосепарирующий канал 6 (14), осадочную камеру 7 (12) с расположенными в ней диаметральным вентилятором 9 (10) и устройством вывода фракций 8 (13). В первой воздушной системе происходит очистка зернового материала от лёгких примесей и пыли до решёт, а во второй – окончательная очистка от оставшихся лёгких примесей, а также щуплого, дроблёного и биологически неполноценного зерна (фуражная фракция) после решёт.

[29]Очиститель зерна фракционный ОЗФ-80. [Электронный ресурс]. URL: https://осколсельмаш.рф/catalog/ochistitel-zerna-fraktsionnyy-ozf-80-40-20 (дата обращения: 24.02.2025).
[30]Зерноочистительная машина АВРОРА-80. [Электронный ресурс]. URL: https://elevator34.ru/mzu (дата обращения: 24.02.2025).
[31]Лучшие технологии на службе в России. [Электронный ресурс]. URL: https://centurion.nt-rt.ru/images/showcase/catalog.pdf (дата обращения: 24.02.2025).
[32]Сепараторы очистки зерна. [Электронный ресурс]. URL: https://gradebel.by/product-category/grain-cleaning/ (дата обращения: 24.02.2025).
[33]Универсальный сепаратор «УС-130 Gradebel». [Электронный ресурс]. URL: https://gradebel.by/product/us-130/ (дата обращения: 24.02.2025).

Скорость воздуха в ПСК регулируется путём бесступенчатого изменения частоты вращения колеса вентилятора с помощью частотного преобразователя.

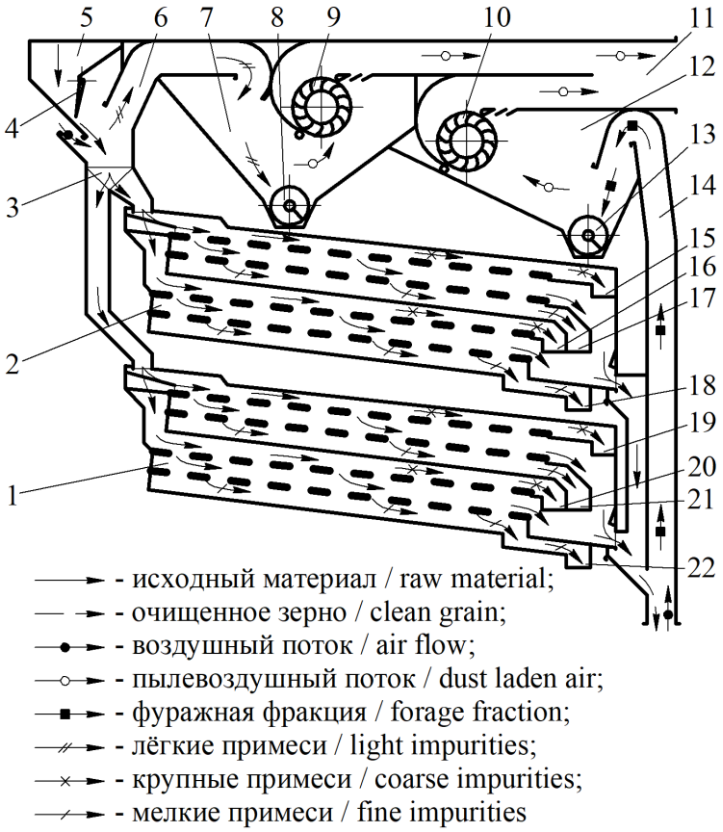


Рис. 6. **Технологическая схема универсального сепаратора УС-130: 1, 2 – решётные станы; 3 – делитель; 4 – регулятор подачи зерна; 5 – приёмный бункер; 6, 14 – пневмосепарирующие каналы; 7, 12 – осадочные камеры; 8, 13 – устройства вывода фракций; 9, 10 – диаметральные вентиляторы; 11 – выходной патрубок; 15…22 – приёмники фракций /**

Fig. 6. **Technological scheme of the universal separator US-130: 1, 2 – sieve boots; 3 – divider; 4 – grain feed regulator; 5 – inlet hopper; 6, 14 – aspiration channels; 7, 12 – sedimentation chambers; 8, 13 – fraction outlet devices; 9, 10 – cross flow fans; 11 – outlet pipe; 15...22 – fraction receivers**

Решётная часть состоит из двух параллельно работающих станов, на которых из обрабатываемого материала выделяются крупные и мелкие примеси.

Достоинства сепаратора – универсальность, высокая производительность, применение двух работающих независимо друг от друга воздушных систем, использование в качестве генераторов воздушного потока диаметральных вентиляторов, регулирование расходов воздуха частотой вращения колеса вентилятора. Кроме того, за счет отсутствия в приёмном бункере распределительного шнека снижается травмирование зерна. Недостатки – низкая эффективность работы дорешётной аспирации из-за малых размеров наклонного ПСК, высокие удельные затраты энергии технологического процесса из-за использования двух вентиляторов, большие габаритные размеры сепаратора по высоте (3,88 м) и длине (4,90 м), масса (4,97 т), а также необходимость в установке дополнительного оборудования для очистки отработанного воздуха.

Выводы. 1. Пневмосепараторы зерна получили широкое распространение за счёт относительно низкой цены и простоты конструкции, высокой производительности, практически не зависящей от влажности и засорённости обрабатываемого материала. Однако в связи с невысоким эффектом очистки зернового материала от крупных и мелких примесей из-за отсутствия соответствующих решётных рабочих органов использование их в режимах предварительной очистки зерна ограничено. Место пневмосепараторов в системе послеуборочной обработки зерна – это финишная воздушная очистка при подготовке семян.

2. Для разделения зернового материала на фракции воздушным потоком используются универсальные воздушно-решётные зерноочи-

стительные машины. Это, как правило, высокопроизводительные двухаспирационные машины, первая (дорешётная) аспирация которых выделяет из обрабатываемого материала лёгкие примеси, а вторая (послерешётная) – щуплое, дроблёное и биологически неполноценное зерно (фуражную фракцию). Применение данных машин в режиме предварительной очистки зерна позволит снизить его травмирование, так как после выделения фуражной фракции на выходе получается более чистый материал, требующий меньшего числа операций по его дальнейшей очистке.

3. При разработке новых воздушных систем машин, предназначенных для предварительной очистки зернового вороха и работающих по пневмофракционной технологии, необходимо обратить внимание на следующие моменты:

- диаметральные вентиляторы хорошо компонуются с другими элементами воздушных систем и в процессе своей работы создают равномерный воздушный поток по всей их ширине, что оказывает положительное влияние на эффективность сепарации материала;

- использование ПСК с развитой нижней частью и оптимальными параметрами, соответствующими его удельной нагрузке, способствует достижению максимальной эффективности выделения лёгких примесей и фуражного зерна;

- выделение из обрабатываемого материала фуражной фракции (щуплого, дроблёного и биологически неполноценного зерна) до очистки его на решётах снижает нагрузку на подсевные и сортировальные решёта и повышает качество очищенного зерна на выходе.

Список литературы

1. Варавин В. И., Коток К. А. Повышение эффективности технологических процессов фракционной очистки зерна и семян. Молодёжь и наука: шаг к успеху: 4-я Всерос. научн. конф. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 224–226. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=42627470 EDN: TNRMNN

2. Тарасенко А. П., Оробинский В. И., Гиевский А. М., Мерчалова М. Э., Чернышов А. В., Чернышов С. В. и др. Совершенствование механизации производства семян зерновых культур: рекомендации. М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2014. 60 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=22588485 EDN: TAHXEV

3. Овчинников Д. Н., Овчинникова Ю. И. Повышение эффективности зерноочистительных систем. Вестник Курганской ГСХА. 2018;(4(28)):68–71. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=37351765 EDN: ATEXPE

4. Пахомов В. И., Бойко А. А., Подлесный Д. С., Бабенко О. С., Корякин М. В. Анализ травмирования семенного материала при очистке на зерноочистительном агрегате типа ЗАВ. Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: XII Междунар. научн.-практ. конф. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «ДГТУ-ПРИНТ», 2019. С. 435–438. DOI: https://doi.org/10.23947/interagro.2019.6.435-438 EDN: FPNJHF

5. Пахомов В. И., Бойко А. А., Подлесный Д. С., Саркисян Д. С. Пути снижения травмирования зернового материала ковшовыми элеваторами в зерноочистительных агрегатах типа ЗАВ. Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: XIII Междунар. научн.-практ. конф. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «ДГТУ-ПРИНТ», 2020. С. 554–558. DOI: https://doi.org/10.23947/interagro.2020.2.554-558 EDN: KJMDTP

6. Тишанинов К. Н. Проблемы современной послеуборочной очистки зерна. Наука в центральной России. 2020;(1(43)):27–35. DOI: https://doi.org/10.35887/2305-2538-2020-1-27-35 EDN: OYFTSJ

7. Оробинский В. И., Ворохобин А. В., Корнев А. С., Головин А. Д., Бачурин И. Г., Пожидаев И. А. Влияние фракционного состава зернового вороха на уровень травмирования и посевные качества семян. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021;14(3(70)):12–17. DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_3_12 EDN: YCNSXI

8. Фейденгольд В. Б., Белецкий С. Л. Причины травмирования зерна и меры по их устранению. Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. 2016;(6(6)):204–217. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=29901384 EDN: ZEIQEH

9. Саитов В. Е., Суворов А. Н. Оценка соответствия модели процесса выделения зерновых примесей из фракции лёгких отходов в осадочной камере результатам эксперимента. Тракторы и сельхозмашины. 2016;(8):26–29. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=26499260 EDN: WHWYXB

10. Тарасенко А. П., Оробинский В. И., Гиевский А. М., Баскаков И. В., Чернышов А. В., Харитонов М. К. Снижение травмирования зерна при послеуборочной обработке. Вестник аграрной науки Дона. 2019;(1(45)):63–68. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?edn=vdyier EDN: VDYIER

11. Мерчалова М. Э., Тарасенко А. П., Мяснянкин К. В. Семяочистительный агрегат нового поколения. Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве: Междунар. научн.-практ. конф. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2017. С. 164–171. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=28909864 EDN: YIQMSL

12. Савиных П. А., Сычугов Ю. В., Казаков В. А., Мошонкин А. М. Усовершенствование технологии послеуборочной переработки зерна при реконструкции зерноочистительно-сушильного комплекса. Техника и оборудование для села. 2019;(8(266)):10–14. DOI: https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-8-10-14 EDN: XDGRZD

13. Савиных П. А., Сычугов Ю. В., Казаков В. А. Фракционная технология и устройства послеуборочной обработки и переработки зерна плющением. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018;12(4):16–21. DOI: https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-4-16-21 EDN: XZIZBZ

14. Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А. Разработка зерноочистительных машин, функционирующих по фракционной технологии. Пермский аграрный вестник. 2018;(3(23)):12–19. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=36415056 EDN: SKDEOL

15. Кузнецов Н. Н., Шушков Р. А., Вершинин В. Н. Имитационное моделирование работы технологической линии послеуборочной обработки семенного зерна. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019;(57):235–240. DOI: https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-14235 EDN: MPEESO

16. Патрин П. А., Устяхин Д. А., Колунин А. Д., Показанов К. А., Абакиров Д. Р. Обоснование способа фракционирования зернового вороха. Теория и практика современной аграрной науки: IV Всерос. научн. конф. Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2021. С. 539–543. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=44893486 EDN: LAEXWX

17. Сысуев В. А., Алёшкин А. В., Сычугов Ю. В., Исупов А. Ю. Комбинированные расчётные схемы в математических моделях процессов фракционирования зерна. Теоретическая и прикладная экология. 2018;(4):24–29. DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-4-024-030 EDN: YXSUEX

18. Саитов В. Е., Курбанов Р. Ф., Саитов А. В. Технические решения по повышению эффективности функционирования пневмосистем зерноочистительных машин. Современные наукоемкие технологии. 2015;(6):36–40. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24846028 EDN: UXSIUP

19. Лачуга Ю. Ф., Измайлов А. Ю., Зюлин А. Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009;(1):2–9. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=11778292 EDN: JXTJCH

20. Белецкий С. Л., Прияткин Н. С., Архипов М. В., Гусакова Л. П. Современные принципы и технические средства сепарации семян. Хранение и переработка сельхозсырья. 2018;(3):89–97. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yvsgyh EDN: YVSGYH

21. Резуев С. Б., Бакаев И. В., Резуев В. С. Сепараторы для зерна. Современное состояние и тенденции развития. Хранение и переработка зерна. 2011;(9(147)):36–41. Режим доступа: http://www.graintechno.com/files/separatory.pdf

22. Олейник Н. Н., Аверин А. Г., Сабиев У. К., Головин А. Ю. Особенности переработки семян льна. Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития: IV Междунар. научн.-практ. конф. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2020. С. 166–171. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43154767 EDN: LDLVXQ

23. Чеботарёв В. П., Барановский И. В., Князев А. А., Немцев П. М. Анализ тенденций развития современных зерноочистительных и сортировальных машин. Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: Междунар. научн.-практ. конф. Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2010. С. 184–189. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32699446 EDN: YUADQZ

24. Ермаков А. И., Литвяк В. В., Росляков Ю. Ф. Исследование работы аспирационной системы универсальной зерноочистительной машины МУЗ-16. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2024;(2):252–259. DOI: https://doi.org/10.24412/2311-6447-2024-2-252-259 EDN: GLWEVB

25. Хандакова Г. Ж., Балданов В. Б., Цыбенов Ж. Б., Пашинова Н. В., Жигжитов А. О., Гылыкова С. Ж. Современные сепараторы для очистки зерна. Образование и наука: Нац. научн.-практ. конф. Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2023. С. 46–51. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54503925 EDN: SEUXEN

26. Vnukov S. K., Shcherbakova A. V., Chernyshov A. V. Air sieve machines. Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: VII Междунар. научн.-практ. конф. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. С. 7–11. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46319591 EDN: WMFYCQ

27. Бурков А. И. Тенденции развития воздушно-решётных зерноочистительных машин на современном этапе. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(2(63)):4–15. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.04-15 EDN: XMFYGL

28. Болотова Н. Очистка зерна. Хлебопродукты. 2010;(5):32–33. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15117442 EDN: MSVEUT

29. Orobinsky V. I., Gievsky A. M., Baskakov I. V., Gulevsky V. A., Chernyshov A. V. Analysis and features of operation of fractional grain cleaners and secondary seed cleaning separators. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;845:012064. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012064

30. Orobinsky V. I., Gievsky A. M., Gulevsky V. A. Prospects for Improving the Technology of Post-harvest Grain and Seed Processing and Technical Means to Implement it. BIO Web of Conferences. 2021;37:00140. DOI: https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700140

References

1. Varavin V. I., Kotok K. A. Improving the efficiency of technological processes of fractional cleaning of grain and seeds. Youth and science: a step towards success: 4th All-Russian scientific conf. Kursk: *Yugo-Zapadniy gosudarstvenniy universite,* 2020. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=42627470

2. Tarasenko A. P., Orobinskiy V. I., Gievskiy A. M., Merchalova M. E., Chernyshov A. V., Chernyshov S. V. et al. Improvment of mechanization of cereal seeds production. Moscow: *FGBNU Rosinformagrotekh*, 2014. 60 p. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=22588485

3. Ovchinnikov D. N., Ovchinnikova Yu. I. Improving the efficiency of grain cleaning systems. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2018;(4(28)):68–71. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=37351765

4. Pakhomov V. I., Boyko A. A., Podlesnyy D. S., Babenko O. S., Koryakin M. V. Analysis of grain cleaning aggregates of type ZAV for injuries to grain. State and development prospects of the agro-industrial complex: XII Int. scientific-practical conf. Rostov-na-Donu: *Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «DGTU-PRINT»*, 2019. pp. 435–438. DOI: https://doi.org/10.23947/interagro.2019.6.435-438

5. Pakhomov V. I., Boyko A. A., Podlesnyy D. S., Sarkisyan D. S. Ways to reduce injury to the grain of the material bucket elevators in a grain- cleaning units of the type head. State and development prospects of the agro-industrial complex: XII Int. scientific-practical conf. Rostov-na-Donu: *Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «DGTU-PRINT»*, 2020. pp. 554–558. DOI: https://doi.org/10.23947/interagro.2020.2.554-558

6. Tishaninov K. N. Problems of modern post-harvest grain cleaning. *Nauka v tsentral'noy Rossii* = Science in Central Russia**.** 2020;(1(43)):27–35. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35887/2305-2538-2020-1-27-35

7. Orobinskiy V. I., Vorokhobin A. V., Kornev A. S., Golovin A. D., Bachurin I. G., Pozhidaev I. A. Fraction composition of the grain heap and its influence on the level of grain damage and sowing qualities of seeds. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2021;14(3(70)):12–17. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_3_12

8. Feydengold V. B., Beletskiy S. L. Causes injury to the grain and remedial action. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i khraneniya material'nykh tsennostey dlya gosudarstvennykh nuzhd*. 2016;(6(6)):204–217. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29901384

9. Saitov V. E., Suvorov A. N. Assessment of model adequacy of the process of grain impurities separation from the fraction of light waste in settling chamber to experimental results. *Traktory i sel'khozmashiny*. 2016;(8):26–29. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=26499260

10. Tarasenko A. P., Orobinskiy V. I., Gievskiy A. M., Baskakov I. V., Chernyshov A. V., Kharitonov M. K. Reducing grain trauma during post-harvest handling. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2019;(1(45)):63–68. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?edn=vdyier

11. Merchalova M. E., Tarasenko A. P., Myasnyankin K. V. New generation seed cleaning unit. Modern trends in the development of technologies and technical means in agriculture: Int. scientific-practical conf. Voronezh: *Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. Imperatora Petra I*, 2017. pp. 164–171.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=28909864

12. Savinykh P. A., Sychugov Yu. V., Kazakov V. A., Moshonkin A. M. Improvement of the post-harvest grain processing process during the reconstruction of a grain-cleaning and drying facilities. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2019;(8(266)):10–14. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-8-10-14

13. Savinykh P. A., Sychugov Yu. V., Kazakov V. A. Fractional technology and tools for post-harvest grain treatment and processing with crushing. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2018;12(4):16-21. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-4-16-21

14. Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazykin V. A. Bevelopment of grain-cleaning machines working on fractional technology. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2018;(3(23)):12–19. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=36415056

15. Kuznetsov N. N., Shushkov R. A., Vershinin V. N. Simulation modeling of the operation of a technological line for post-harvest processing of seed grain. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2019;(57):235–240. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-14235

16. Patrin P. A., Ustyakhin D. A., Kolunin A. D., Pokazanov K. A., Abakirov D. R. Substantiation of the method of fractionation of grain heap. Theory and practice of modern agricultural science: IV All-Russian scientific conf. Novosibirsk: *Izdatel'skiy tsentr Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta «Zolotoy kolos»*, 2021. pp. 539–543. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=44893486

17. Sysuev V. A., Aleshkin A. V., Sychugov Yu. V., Isupov A. Yu. Combined calculation schemes in mathematical models the fractionation of grain. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2018;(4):24–29. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-4-024-030

18. Saitov V. E., Kurbanov R. F., Saitov A. V. Technical solutions to improve efficiency functioning pneumatic winnowing machines. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* = Modern High Technologies. 2015;(6):36–40. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=24846028

19. Lachuga Yu. F., Izmaylov A. Yu., Zyulin A. N. Development and implementation of highly efficient, resource- and energy-saving technologies and technical means for post-harvest grain processing and seed preparation. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2009;(1):2–9. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=11778292

20. Beletskiy S. L., Priyatkin N. S., Arkhipov M. V., Gusakova L. P. Novel principles and technical solutions of seeds sorting. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya*. 2018;(3):89–97. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yvsgyh

21. Rezuev S. B., Bakaev I. V., Rezuev V. S. Grain separators. Current status and development trends. *Khranenie i pererabotka zerna*. 2011;(9(147)):36–41. (In Russ.). URL: http://www.graintechno.com/files/separatory.pdf

22. Oleynik N. N., Averin A. G., Sabiev U. K., Golovin A. Yu. Features of processing flax seeds. Scientific and technical support of the agro-industrial complex, state and development prospects: IV International scientific-practical conference. Omsk: *Omskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni P. A. Stolypina*, 2020. pp. 166–171.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43154767

23. Chebotarev V. P., Baranovskiy I. V., Knyazev A. A., Nemtsev P. M. Analysis of trends in modern grain cleaning and sorting machines. Scientific and technological progress in agricultural production: International scientific and practical conference. Minsk: *RUP «NPTs NAN Belarusi po mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva»*, 2010. pp. 184–189.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32699446

24. Ermakov A. I., Litvyak V. V., Roslyakov Yu. F. Study of the operation of the aspiration system of the universal grain cleaning machine MUZ-16. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya* = Technologies of Food and Processing Industries of Agro-industrial Complex– Healthy Food. 2024;(2):252–259. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2311-6447-2024-2-252-259

25. Khandakova G. Zh., Baldanov V. B., Tsybenov Zh. B., Pashinova N. V., Zhigzhitov A. O., Gylykova S. Zh. Modern separators for grain cleaning. Education and Science: National Scientific and Practical Conf. Ulan-Ude: Vostochno-Sibirskiy gosudarstvennyy universitet tekhnologiy i upravleniya, 2023. C. 46–51.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54503925

26. Vnukov S. K., Shcherbakova A. V., Chernyshov A. V. Air sieve machines. Current issues of agricultural science, production and education: VII International scientific-practical conference. Voronezh: *Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. Imperatora Petra I*, 2021. pp. 7–11. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46319591

27. Burkov A. I. Trends in development of air screen grain cleaners at present stage. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;63(2):4–15. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.04-15

28. Bolotova N. Grain cleaning. *Khleboprodukty*. 2010;(5):32–33. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15117442

29. Orobinsky V. I., Gievsky A. M., Baskakov I. V., Gulevsky V. A., Chernyshov A. V. Analysis and features of operation of fractional grain cleaners and secondary seed cleaning separators. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;845:012064. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012064

30. Orobinsky V. I., Gievsky A. M., Gulevsky V. A. Prospects for Improving the Technology of Post-harvest Grain and Seed Processing and Technical Means to Implement it. BIO Web of Conferences. 2021;37:00140.
DOI: https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700140

Сведения об авторе

✉ **Глушков Андрей Леонидович**, кандидат техн. наук, зав. лабораторией зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1448-9930**, e-mail: glandrey@yandex.ru

Information about the author

✉ **Andrei L. Glushkov**, PhD in Engineering, Head of the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1448-9930**, e-mail: glandrey@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.536–545
УДК 633.11:631.559

(cc) BY

Результаты сравнительного изучения коммерческих сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Кировской области

© 2025. Л. В. Волкова✉
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В 2022–2024 гг. проведен комплексный анализ 10 допущенных в производство сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Кировской области, в результате которого выявлены их особенности, даны рекомендации для эффективного производства, а также использования в селекции на высокую урожайность и качество зерна. К раннеспелым отнесен сорт Ирень (Россия) со средним периодом вегетации 77 дней, к среднеранним (81 день) – Баженка, Награда (Россия), Ликамеро (Франция), к среднеспелым (83-84 дня) – Каменка (Россия, Беларусь), Маргарита, Приокская, Йолдыз (Россия), Тризо (Германия), к среднепоздним (88 дней) – Ульяновская 105 (Россия). Максимальную среднюю урожайность среди среднеранних сортов показал сорт Награда (2,65 т/га), среди среднеспелых – сорт Маргарита (2,77 т/га). По стабильности урожайности выделился сорт Приокская (коэффициент вариации CV = 19,6 %), сильной реакцией на условия отличились Ирень (CV = 42,9 %) и Йолдыз (CV = 40,5 %). По индексу интенсивности выделились сорта Тризо и Ликамеро (ИИС = 0,32-0,33). Сочетанием урожайности, стабильности и интенсивности, согласно сумме рангов, характеризовались сорта Награда, Ульяновская 105 и Приокская. Зерно с высоким технологическим качеством (натура, содержание белка, содержание и качество клейковины, число падения) формировали сорта Ирень и Тризо. Склонностью к прорастанию на корню и высокой амилазной активностью зерна выделялись Приокская, Маргарита и Ликамеро. На инфекционных фонах устойчивостью к пыльной головне отличился сорт Награда, к твердой головне – Баженка, к септориозу листа и колоса – Тризо. Минимальное поражение фузариозом колоса отмечено у сорта Ирень. На естественном фоне лучшую устойчивость к корневым гнилям показали Ирень, Баженка и Йолдыз.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., *сорт*, *урожайность, элементы продуктивности, качество зерна, устойчивость к болезням*

Благодарности: исследования проведены при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки РФ в рамках выполнения ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока федерального проекта «Реализация Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства и научное обеспечение развития отраслей агропромышленного комплекса» государственной программы РФ «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».

Автор благодарит рецензентов за их вклад экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Волкова Л. В. Результаты сравнительного изучения коммерческих сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):536–545.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.536-545

Поступила: 18.04.2025 Принята к публикации: 09.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

The results of a comparative study of commercial cultivars of spring wheat in the Kirov region

© 2025. Lyudmila V. Volkova✉
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

In 2022–2024, a comprehensive analysis of 10 cultivars of spring soft wheat approved for production in the Kirov region was carried out, as a result of which their features were identified, recommendations were made for efficient production, as well as use in breeding for high yields and grain quality. The 'Iren'cultivar (Russia) with an average growing season of 77 days was classified as early–ripening, 'Bazhenka', 'Nagrada'(Russia), 'Likamero' (France) were classified as medium-early (81 days), 'Kamenka' (Russia, Belorussia), 'Margarita', 'Priokskaya', 'Yoldyz' (Russia) 'Triso' (Germany) were classified as medium-ripening (83-84 days), 'Ulianovskaya 105' (Russia) was classified as middle-late (88 days). The maximum average yield among medium-early cultivars was shown by the 'Nagrada' (2.65 t/ha), among medium-ripening cultivars – the 'Margarita' (2.77 t/ha). In terms of yield stability, the 'Priokskaya' cultivar stood out (CV = 19.6 %), 'Iren' (CV = 42.9 %) and 'Yoldyz' (CV = 40.5 %) were characterized by a strong reaction to conditions. According to the intensity index, 'Triso' and 'Licamero' cultivars were distinguished (IIS = 0.32-0.33). The combination of yield, stability and intensity, according to the sum of the ranks, showed the cultivars 'Nagrada', 'Ulianovskaya 105' and 'Priokskaya'. Grains with high technological quality (nature, protein content, gluten content and quality, number of drops) were formed by 'Iren' and 'Triso'. Cultivars 'Priokskaya', 'Margarita' and 'Likamero' were distinguished by their propensity to germinate on the root and high amylase activity of the

grain. On infectious backgrounds, the 'Nagrada' cultivar was characterized by resistance to dusty smut, 'Bazhenka' to hard smut, and 'Trizo' to leaf and ear septoria. Minimal damage to the ear fusarium was noted in the 'Iren' cultivar. On a natural background, 'Iren', 'Bazhenka' and 'Yoldyz' showed the best resistance to root rot.

Keywords: *Triticum aestivum* L., *cultivar, yield, productivity elements, grain quality, disease resistance*

Acknowledgments: the research was carried out under the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the federal project of FARC North-East "Implementation of Federal scientific and technical program of agriculture development and scientific support of the industries of Agro-Industrial Complex" within the state program of the Russian Federation "Scientific and technological development of the Russian Federation."

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: Volkova L. V. The results of a comparative study of commercial cultivars of spring wheat in the Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):536–545. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.536-545

Received: 18.04.2025 Accepted for publication: 09.06.2025 Published online: 30.06.2025

В увеличении эффективности мирового растениеводства при интенсификации сельского хозяйства важная роль принадлежит сортам, которые являются важным рентообразующим фактором в производстве зерна [1]. В России с ее разнообразными почвенно-климатическими условиями и высокой долей земель, находящихся в зоне рискованного земледелия, роль сорта многократно возрастает, поскольку определяет величину, качество и сроки поступления урожая[1]. Потребность в адаптивных генотипах становится еще более острой в связи с высокой вероятностью изменения климата и аридизацией значительных территорий [2]. Для каждой почвенно-климатической зоны существует набор наиболее подходящих по экотипу сельскохозяйственных культур [3]. Государственный реестр селекционных достижений, по данным 2025 года, содержит достаточно широкий ассортимент (49 сортов) яровой мягкой пшеницы, допущенных к возделыванию в Волго-Вятском регионе. Между тем, товаропроизводителям бывает сложно ориентироваться в таком многообразии образцов и подобрать для себя оптимальный вариант. Как известно, в процессе производства уровень реальной урожайности отличается от заявленного и бывает ограничен совокупным воздействием экологических факторов и специфических реакций, характерных для каждого сорта [4, 5]. Сочетание в одном генотипе таких трудно совместимых признаков, как урожайность, качество зерна, устойчивость к основным болезням, засухоустойчивость является весьма трудной задачей [6, 7]. Поэтому для обеспечения устойчивого и эффективного развития производства зерна необходим подбор сортов-взаимострахователей, обеспечивающих адаптацию агроценозов к разнообразным почвенно-климатическим условиям, «капризам» погоды, разному уровню технологической оснащенности хозяйств. Для сельхозтоваропроизводителей важно знать реальные возможности сортов яровой пшеницы как при реализации генетического потенциала продуктивности, так и устойчивости к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам.

Цель исследований – сравнительное изучение современных, наиболее востребованных в производстве Кировской области сортов яровой мягкой пшеницы по комплексу признаков, выявление их отличительных особенностей для рекомендаций производству.

Научная новизна – в рамках экологического испытания 2022–2024 гг. дана сравнительная характеристика коммерческих сортов яровой мягкой пшеницы по урожайности и комплексу хозяйственно ценных признаков.

Материал и методы. Полевые исследования проводили в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в питомнике экологического сортоиспытания в 2022–2024 гг. Почва участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая, $pH_{сол}$ – 4,4; содержание гумуса низкое – 2,0 % (по методу Тюрина), подвижного фосфора высокое – 192 мг/кг почвы, обменного калия повышенное – 157 мг/кг (по методу Кирсанова). Перед посевом вносили минеральные удобрения ($N_{16}P_{16}K_{16}$), предшественник – чистый пар. Учетная площадь делянок 10 м^2, повторность двукратная, норма высева 6 млн всхожих зерен на 1 га. Объектом для изучения служили 10 сортов яровой мягкой пшеницы, допущенных к использованию в Волго-Вятском и других регионах. В Кировской области посевная площадь изучаемых сортов составляла 63,3 тыс. га, или 77 % от всех площадей, занятых яровой мягкой пшеницей (табл. 1).

[1]Коммерческие сорта полевых культур Российской Федерации. Под ред. А. С. Семина. М.: «Икар», 2003. 256 с.

Таблица 1 – **Сорта яровой мягкой пшеницы, изученные в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока /**
Table 1 – **Spring soft wheat cultivars studied at the Federal Agricultural Research Center of the North-East**

Сорт / Cultivar	*Оригинатор / The originator*	*Год включения в реестр (регион допуска) / Year of inclusion in the registry (region of admission)*	*Посевная площадь в Кировской области, 2024 г., тыс. га / Acreage in the Kirov region, 2024, thous. ha*
Ирень / 'Iren'	ФГБНУ Уральский НИИСХ / Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences	1998 (1, 2, 3, 4, 9, 10, 11)	11,3
Баженка / 'Bazhenka'	ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока / Federal Agricultural Research Center of the North-East	2011 (4)	6,2
Награда / 'Nagrada'		2022 (4)	0,6
Каменка / 'Kamenka'	ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по земледелию» / Verkhnevolzhsky Federal Agricultural Research Center, Republican Unitary Enterprise "The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable»	2019 (2, 3, 4)	2,4
Маргарита / 'Margarita'	ФГБУН Самарский Федеральный исследовательский центр РАН / Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences	2008 (4, 7)	8,6
Ульяновская 105 / 'Ulianovskaya 105'		2017 (4, 7, 9)	1,9
Приокская / 'Priokskaya'	ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» / Federal State Budgetary Institution "Federal Research Center "Nemchinovka"	1993 (2, 3, 4)	10,9
Йолдыз / 'Yoldyz'	ФГБУН «ФИЦ Казанский научный центр Российской академии наук» / Federal Research Center «Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences	2015 (4, 5, 7)	1,4
Тризо / 'Triso'	Deutsche Saatveredelung AG	2004 (2, 3, 5)	7,9
Ликамеро / 'Likamero'	Secobra recherches S.A.S	2017 (2, 3, 4, 5, 12)	12,1

Фенологические наблюдения, оценку элементов структуры продуктивности растений, учет урожайности осуществляли в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания[2]. Индекс интенсивности сорта (ИИС) определяли по формуле: In x Y/L, где In – устойчивость к полеганию, балл; Y – урожайность; L – высота растения. Для выделения сортов, сочетающих на высоком уровне урожайность, стабильность и индекс интенсивности, использовали значения суммы рангов, где первый ранг соответствовал лучшему показателю. Оценку состояния фотосинтетического аппарата осуществляли в фазу молочно-восковой спелости на флаговом листе с помощью тестера Konica Minolta SPAD 502 Plus (Japan). Содержание белка определяли на приборе «Инфраскан-М» производства компании «ЭКАН» (Россия), содержание клейковины и ее качество – с помощью системы Glutomatic фирмы Perten Instruments. Число падения измеряли на автоматическом приборе фирмы Falling Number (Швеция) по методу Хагберга-Пертена.

Изучение устойчивости пшеницы к пыльной и твердой головне проводили на искусственном инфекционном фоне по методике Э. Э. Гешеле[3]. Определение устойчивости к септориозу (*S. tritici, S. nodorum*) проводили на искусственном фоне в фазу восковой спелости[4]. Изучение устойчивости пшеницы к фузариозным болезням на искусственном инфекционном фоне проводили по методике Т. К. Шешеговой, Л. И. Кедровой (2003)[5].

[2]Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: «Колос», 1985. Вып. 1, 2. 267 с.
[3]Гешеле Э. Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений. М., 1978. 205 с.
[4]Судникова В. П., Зеленева Ю. В., Плахотник В. В. Возбудители септориоза пшеницы, изучение популяций по морфолого-физиологическим свойствам, устойчивость сортообразцов к патогену. Методические рекомендации. Тамбов: издательский дом им. Г. Р. Державина, 2011. 35 с.
[5]Шешегова Т. К., Кедрова Л. И. Методические рекомендации по созданию искусственных инфекционных фонов и оценке озимой ржи на устойчивость к фузариозным болезням. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2003. 30 с.

Оценку поражения бурой ржавчиной и мучнистой росой осуществляли при эпифитотийном развитии болезни согласно методическим указаниям[6]. Полученные данные всех экспериментов обрабатывали статистическим методом дисперсионного анализа с использованием пакетов программ Microsoft Office Excel 2007.

Условия вегетации в период изучения сортов яровой пшеницы 2022–2024 гг. существенно различались по тепло- и влагообеспеченности растений (табл. 2).

Таблица 2 – **Гидротермический коэффициент (ГТК) по фазам роста и развития яровой мягкой пшеницы в годы исследований /**
Table 2 – **Hydrothermal coefficient (HTC) according to the phases of growth and development of spring soft wheat during the years of research**

Год / Year	*Посев – всходы / Sowing – shoots*	*Всходы – кущение / Shoots – tillering*	*Кущение – колошение / Tillering –earing*	*Колошение – восковая спелость / Earing – waxy ripeness*	*Посев – восковая спелость / Sowing – waxy ripeness*
2022	0,96	6,21	1,00	1,57	2,04
2023	1,61	0,87	1,08	1,97	1,64
2024	0,26	1,25	0,65	0,73	0,73

В 2022 году условия вегетационного периода в целом были благоприятными для роста и развития яровой пшеницы и способствовали формированию высокого урожая. Погодные условия начала вегетации в 2023 г. обусловили хорошую полноту всходов и отличное состояние посевов яровой пшеницы. В репродуктивную фазу развития количество осадков более чем в два раза превысило норму, наблюдали полегание неустойчивых сортов, сильное развитие листовых болезней. В 2024 году аномальные холода в послепосевной период и дефицит влаги в критический период развития растений крайне неблагоприятно сказались на урожайности яровой пшеницы. Дефицит осадков в фазу налива и созревания зерна (42–52 % от нормы) негативно отразился на крупности зерна и его качестве.

Результаты и их обсуждение. Продолжительность вегетационного периода зависит как от генотипа, так и от факторов внешней среды. Высокие летние температуры и недостаток влаги ускоряют развитие растений, при этом скороспелые сорта яровой мягкой пшеницы сильно теряют в урожайности [8]. С другой стороны, возделывание позднеспелых сортов влечет за собой риск дополнительных расходов в связи с запоздалой уборкой, дополнительной сушкой и потерей технологических качеств зерна. Для позднеспелых сортов рекомендованы по возможности более ранние сроки посева, а при необходимости – десикация посевов перед уборкой. Для раннеспелых допустим более поздний посев и использование их в качестве сортов-страхователей. Поэтому важен подбор сортов с оптимальной для каждого хозяйства и региона продолжительностью вегетационного периода.

У изучаемых сортов средняя величина вегетационного периода варьировала от 79 до 88 дней, различия генотипов по этому признаку статистически доказаны ($НСР_{05}$ = 2 дня), что позволило сгруппировать сорта по четырем группам спелости. К раннеспелым отнесен сорт Ирень, к среднеранним – Баженка, Награда, Ликамеро, к среднеспелым – Каменка, Маргарита, Приокская, Тризо, Йолдыз. Сорт Ульяновская 105 отличился самым продолжительным вегетационным периодом и принадлежит к среднепоздней группе (табл. 3).

Среднее групповое значение урожайности в контрастные по погодным условиям годы изменялось от 1,61 до 3,15 т/га. Достоверное превышение урожайности над средним значением в опыте в благоприятном 2022 г. показали сорта Каменка и Маргарита, в стрессовом 2024 г. – сорт Приокская. В опыте средняя за три года урожайность составила 2,53 т/га с варьированием от 2,17 (сорт Ирень) до 2,77 т/га (сорт Маргарита). Среди среднеранних сортов самую высокую урожайность показал Награда, среди среднеспелых – Маргарита.

Реакцию сорта на условия возделывания показывает коэффициент вариации (CV, %). Высокоинтенсивные сорта требуют размещения по лучшим предшественникам и для реализации их потенциала необходим высокий агрофон. Сорта с низкой вариабельностью урожаев обеспечивают продуктивность при размещении по разным предшественникам и более низком уровне плодородия почвы, имеют преимущество в неблагоприятные по погодным условиям годы.

[6]Методические указания по изучению мировой коллекции пшеницы. СПб.: ВИР, 1999. 53 с.

Таблица 3 – **Характеристика сортов яровой мягкой пшеницы по урожайности, стабильности (CV, %) и индексу интенсивности (ИИС) /**
Table 3 – **Characteristics of cultivars of spring soft wheat by yield, stability (CV, %) and intensity index (IIC)**

Сорт / Cultivar	*Вегетационный период, дни / Growing season, days*	*Урожайность, т/га / Yield, t/ha*				*CV, %*	*ИИС / IIC*
		2022 г.	*2023 г.*	*2024 г.*	*среднее / average*		
Раннеспелые / Early ripening							
Ирень / ‘Iren’	79	2,74	2,68	1,10	2,17	42,9	0,21
Среднеранние / Medium-early							
Баженка / ‘Bazhenka’	81	3,06	2,27	1,54	2,29	33,1	0,26
Награда / ‘Nagrada’	81	3,33	2,90	1,72	2,65	31,4	0,28
Ликамеро / ‘Likamero’	81	2,79	2,77	1,48	2,35	32,1	0,32
Среднеспелые / Medium ripening							
Каменка / ‘Kamenka’	83	3,54*	2,48	1,64	2,55	37,4	0,26
Маргарита / ‘Margarita’	84	3,60*	3,10	1,63	2,77	36,8	0,23
Приокская / ‘Priokskaya’	83	3,03	2,82	2,05*	2,63	19,6	0,27
Тризо / ‘Triso’	83	2,83	3,12	1,52	2,49	34,2	0,33
Йолдыз / ‘Yoldyz’	84	3,38	3,32	1,44	2,72	40,5	0,28
Среднепоздние / Middle-late							
Ульяновская 105 / ‘Ulianovskaya 105’	88	3,19	2,99	1,96	2,71	24,3	0,27
Среднее в опыте / Average by experiment	83	3,15	2,84	1,61	2,53	33,3	0,27
$F_{факт}$ / F_{fact}	24,3	8,21	1,26	3,79	1,77	-	-
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	2	0,26	-	0,39	0,49	-	-

*Достоверные отличия от среднего значения в опыте, значимо при $p \leq 0,05$ /
*Significant differences from the average value in the experiment, statistically significant at $P \geq 0.95$

К наиболее стабильным, обладающим наименьшей вариацией урожайности в контрастные годы, можно отнести сорта Приокская и Ульяновская 105 (CV<25,0 %), высокой степенью варьирования характеризовались Ирень и Йолдыз (CV>40 %). Для применения интенсивных технологий возделывания при внесении повышенных доз азотных удобрений требуются сорта с высоким потенциалом урожайности и определенной архитектоникой растений: короткий стебель, прочная соломина, устойчивость к полеганию. Для комплексной характеристики изучаемых сортов по данным признакам использовали индекс интенсивности (ИИС). Максимальным ИИС обладали зарубежные сорта Тризо и Ликамеро, среди отечественных можно выделить сорта Награда и Йолдыз.

Для выделения сортов, сочетающих все три показателя на высоком уровне (урожайность, стабильность и индекс интенсивности), применяли их ранжирование. Первый ранг соответствовал лучшему показателю, десятый – худшему (рис.). По сумме рангов выделялись сорта Награда, Ульяновская 105 и Приокская ($\sum = 10…11$). Сорт Ирень набрал максимальную сумму рангов, поскольку характеризовался самой низкой урожайностью, высокой ее вариабельностью и низким ИИС.

Сорта также анализировали по основному комплексу признаков продуктивности. Достоверные различия обнаружены по высоте, содержанию хлорофилльных пигментов и массе 1000 зерен, генотипические различия сортов по другим показателям из-за высокой вариабельности и зависимости от условий года были статистически недостоверны. Достоверно низкой относительно среднего значения в опыте длиной стебля (59,8–62,2 см) в сочетании с высокой активностью фотосинтеза (показатель SPAD 502 Plus более 40 ед.пр.), отличились сорта Тризо и Ликамеро, высокую массу 1000 зерен (43,5–44,0 г) сформировали Маргарита и Йолдыз. По величине флагового листа выделились сорта Награда, Приокская, Йолдыз. Повышенным количеством продуктивных стеблей на единице площади характеризовались сорта Награда, Приокская, Тризо. Высокоустойчивыми к поле-

ганию в течение трехлетнего периода отмечены сорта Награда, Тризо, Ликамеро (9 баллов по 9-балльной шкале), у сорта Маргарита во влажные годы степень полегания составила 5 баллов. По продуктивности главного колоса выделялись сорта Ульяновская 105 и Йолдыз (табл. 4).

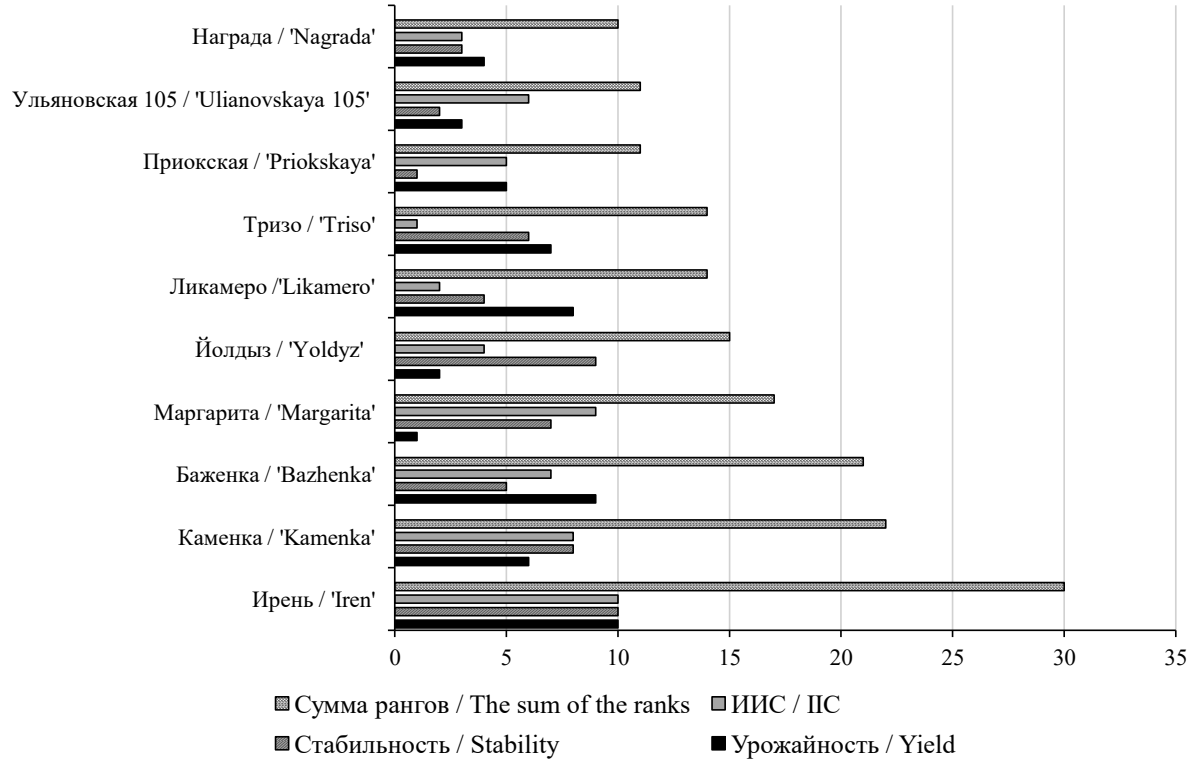


Рис. **Ранги сортов яровой мягкой пшеницы по средней урожайности, стабильности урожайности и ИИС /**
Fig. **Ranks of spring soft wheat cultivars by average yield, yield stability, and intensity index**

Для эффективного сельскохозяйственного производства важно, чтобы сорта пшеницы формировали не только высокую и стабильную урожайность, но и хорошее технологическое качество зерна [9, 10, 11]. Средний показатель натурной массы у сортов варьировал в пределах 765…811 г/л, максимальный уровень отмечен у сорта Награда, минимальный – Ульяновская 105. Высокостекловидным зерном отличились Ирень и Ликамеро, статистически доказано более высокое содержание белка в зерне сортов Ирень и Тризо. Содержание клейковины в зерне на уровне сильной пшеницы (28,0–30,1 %) сформировали сорта Ирень, Каменка, Тризо, Ликамеро; на уровне ценной пшеницы (более 25,0 %) – Баженка, Награда, Маргарита, Приокская, Ульяновская 105. Сорт Йолдыз по содержанию клейковины отнесен к филлерам. Высокое качество клейковины отмечено у сортов Ирень, Баженка, Приокская (показатель глютен-индекса более 80,0 %). В 2024 г. неблагоприятные погодные условия в период налива и созревания зерна обусловили прорастание зерна в колосе. Для оценки активности фермента альфа-амилазы в зерне использовали показатель «число падения». Высокой активностью амилолитических ферментов, а следовательно, склонностью к прорастанию зерна на корню, выделились сорта Приокская, Ликамеро и Маргарита. Сорта Ирень, Баженка, Награда, Тризо, Йолдыз имели показатель «число падения» 240–297 с, что соответствует зерну первого класса качества. По комплексу показателей качества зерна отличился сорт Ирень (все показатели на уровне сильной пшеницы), а также Тризо (все показатели, исключая стекловидность зерна) (табл. 5).

По мере роста потенциальной продуктивности с.-х. культур за счет селекции и агротехники проблема устойчивости сортов к действию биотических и абиотических стрессоров становится все более острой. В последние годы все большую популярность набирает применение минимальных обработок почвы, а более теплые зимы благоприятствуют сохранению источников инфекции. Изменение климата приводит к ранним срокам проявления болезней и, следовательно, увеличению периода их вредоносности, при этом некоторые второстепенные болезни переходят в разряд особо опасных [12].

Таблица 4 – **Характеристика сортов яровой мягкой пшеницы по признакам продуктивности (в среднем за 2022–2024 гг.) /**
Table 4 – **Characteristics of spring soft wheat cultivars by productivity (on average for 2022-2024)**

Сорт / Cultivar	*Устойчивость к полеганию, балл / Resistance to lodging, score*	*Высота растений, см / Height of plants, cm*	*Показания SPAD 502 Plus, ед.пр. / Readings of SPAD 502 Plus, units*	*Площадь флагового листа, см² / The area of the flag leave, cm²*	*Количество стеблей, шт/м² / Number of stems, pcs/m²*	*Число зерен с колоса, шт. / Number of grains per ear, pcs.*	*Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g*
Ирень / 'Iren'	8,3	78,1	37,5	8,1	459	22,8	35,8
Баженка / 'Bazhenka'	8,7	66,7	36,7	9,2	505	20,7	36,8
Награда / 'Nagrada'	9,0	76,8	35,1	10,5	521	22,3	36,5
Каменка / 'Kamenka'	8,7	71,6	36,0	9,5	489	17,7	40,9
Маргарита / 'Margarita'	7,3	79,4	36,3	9,7	484	17,4	44,0*
Приокская / 'Priokskaya'	8,0	68,9	34,7	10,2	568	21,0	36,6
Ульяновская 105 / 'Ulianovskaya 105'	8,3	76,2	38,9	8,7	486	24,0	39,8
Тризо / 'Triso'	9,0	62,2*	42,6*	7,6	550	22,6	38,8
Ликамеро / 'Likamero'	9,0	59,8*	41,7*	8,3	484	22,0	41,5
Йолдыз / 'Yoldyz'	8,3	76,3	36,4	11,2	397	23,0	43,5*
Среднее / Average	-	**71,6**	**37,6**	**9,3**	**494**	**21,4**	**39,4**
$F_{факт}$ / F_{fact}	-	7,30	4,70	1,44	1,31	1,48	11,2
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	-	8,3	4,0	-	-	-	3,0

Таблица 5 – **Характеристика сортов яровой мягкой пшеницы по качеству зерна (в среднем за 2022–2024 гг. /**
Table 5 – **Characteristics of spring soft wheat cultivars by grain quality (on average for 2022–2024)**

Сорт / Cultivar	*Натурная масса зерна, г/л / Natural weight of grain, g/l*	*Стекловидность зерна, % / Vitreous grain, %*	*Содержание белка в зерне, % / Protein content in grain, %*	*Содержание клейковины в зерне, % / Gluten content in grain, %*	*Глютен-индекс, % / Gluten index, %*	*Число падения, с / Number of falls, seconds*
Ирень / 'Iren'	795	70,0*	13,4*	30,1	88,5	274*
Баженка / 'Bazhenka'	797	49,7	11,9	26,4	81,5	297*
Награда / 'Nagrada'	811	53,6	11,8	26,6	57,7	280*
Каменка / 'Kamenka'	796	54,4	11,8	28,7	66,8	194
Маргарита / 'Margarita'	793	48,7	11,4	27,1	44,0	158
Приокская / 'Priokskaya'	795	42,8	11,4	25,6	84,0	134
Ульяновская 105 / 'Ulianovskaya 105'	765	53,9	11,3	26,8	54,2	204
Тризо / 'Triso'	792	52,6	12,9*	29,6	74,7	240
Ликамеро / 'Likamero'	808	63,4*	12,4	28,2	78,8	160
Йолдыз / 'Yoldyz'	801	53,4	11,3	23,0	79,9	261*
Среднее / Average	**795**	**54,2**	**11,9**	**27,2**	**71,0**	**220**
$F_{факт}$ / F_{fact}	2,66	8,55	6,18	2,51	4,29	19,27
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	25	8,4	1,0	4,7	23,1	40

* Достоверные отличия от среднего значения в опыте, значимо при $p \leq 0,05$ / * Significant differences from the average value in the experiment, statistically significant at $P \geq 0.95$

Возделывание восприимчивых к головневым болезням и корневым гнилям сортов требует обязательного протравливания семян фунгицидом, а при выращивании неустойчивых к листовым болезням сортов нужен тщательный мониторинг за состоянием посевов и при необходимости одно- или двукратная обработка фунгицидами. Повышается спрос на сорта пшеницы с генетической устойчивостью к заболеваниям, отвечающие принципам максимальной экономической эффективности и экологической безопасности для нужд кормопроизводства, мукомольного, крупяного и хлебопекарного производства [13].

Оценка сортов на искусственном инфекционном фоне пыльной головни выявила практически устойчивые (Награда) и сильно восприимчивые (Ирень, Баженка, Каменка, Тризо), остальные сорта характеризовались как слабо- и средневосприимчивые. На инфекционном фоне твердой головни к высокоустойчивым отнесен сорт Баженка, к практически устойчивым (поражено не более 10 % колосьев) – Ирень, Награда, Маргарита, Приокская, Ульяновская 105. Сильную восприимчивость к данному заболеванию проявил сорт Ликамеро.

Фузариоз колоса относится к одному из самых опасных заболеваний зерновых, поскольку ухудшает хлебопекарные качества, приводит к накоплению вредных для человека и животных микотоксинов. Вредоносность при наибольшей степени поражения колоса фузариозом составляет 75,9 % (по озерненности) и 86,9 % (по продуктивности) [14]. При искусственном заражении фузариозом колоса практически устойчивых сортов не выявлено, к умеренно восприимчивым (менее 60 % поражения колоса) можно отнести сорта Ирень, Баженка, Каменка, Ульяновская 105, Ликамеро, остальные сорта отнесены к категории восприимчивых (60–80 % поражения колоса).

На инфекционном фоне *S. nodorum* устойчивостью (6–15 %) и умеренной устойчивостью (16–25 %) к септориозу колоса характеризовались сорта Тризо, Награда и Ульяновская 105. Септориозом листьев сорта поражались на уровне восприимчивых (26–65 %) и высоковосприимчивых (66–100 %). Наименьший процент поражения наблюдали у Ликамеро (табл. 6).

Таблица 6 – **Характеристика сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к болезням на искусственном инфекционном фоне (максимальное значение за 2022–2024 гг.) /**
Table 6 – **Characteristics of spring soft wheat cultivars for resistance to diseases on an artificial infectious background (the maximum value for 2022–2024)**

Сорт / Cultivar	*Пыльная головня / Loose smut*	*Твердая головня / Head smut*	*Септориоз, степень поражения, % / Septoria, degree of lesion, %*		*Фузариоз колоса, % поражения / Ear fusarium, % of damage*
	% пораж. стеблей / % of affected stems		*лист / leaf*	*колос / spike*	
Ирень / ‘Iren’	56,5	9,1	76,3	40,4	43,0
Баженка / ‘Bazhenka’	62,1	0	70,5	27,0	43,5
Награда / ‘Nagrada’	6,0	9,9	81,7	17,8	66,0
Каменка / ‘Kamenka’	58,3	16,5	39,8	30,1	45,0
Маргарита / ‘Margarita’	21,3	9,3	65,3	39,2	72,0
Приокская / ‘Priokskaya’	20,9	3,9	81,3	46,0	76,0
Ульяновская 105 / ‘Ulianovskaya 105’	15,7	6,9	76,7	23,5	56,0
Тризо / ‘Triso’	60,8	29,3	45,8	11,3	68,0
Ликамеро / ‘Likamero’	41,9	61,7	30,9	39,0	52,0
Йолдыз / ‘Yoldyz’	26,3	31,4	48,8	36,3	74,0

В течение 2022–2023 гг. в посевах было отмечено сильное развитие корневых гнилей. При подсчете погибших (белоколосых) растений на естественном провокационном фоне выявлено сильное поражение сортов Тризо, Ликамеро и Каменка (2,2…5,3 растения/м^2). Минимальное поражение корневыми гнилями наблюдали у сортов Ирень, Баженка и Йолдыз. Поражение бурой ржавчиной и мучнистой росой на естественном фоне у изучаемых сортов было незначительным – 7–9 баллов устойчивости, у сортов-индикаторов – соответственно 5 и 3 балла.

Заключение. Многосторонняя оценка сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Кировской области позволила выявить достоинства и недостатки каждого сорта. Средняя за три года урожайность в опыте составила 2,53 т/га, в среднеранней группе самую высокую урожайность показал новый сорт Награда (2,65 т/га), в среднеспелой – Маргарита (2,77 т/га). По стабильности урожайности выделился сорт Приокская, что объясняет его долговременную востребованность в производстве, по индексу интенсивности – широко распространенные в области сорта Тризо и Ликамеро. Сочетанием урожайности, стабильности и интенсивности характеризовались сорта Награда, Ульяновская 105 и Приокская. Зерно с высоким технологическим качеством сформировали сорта Ирень и Тризо. Склонностью к прорастанию на корню и высокой амилазной активностью зерна отличались Приокская, Маргарита и Ликамеро. На инфекционных фонах устойчивостью к пыльной головне характеризовался сорт Награда, к твердой головне – Баженка, к септориозу листа и колоса – Тризо. Минимальное поражение фузариозом колоса отмечено у сорта Ирень. На естественном фоне минимальное поражение корневыми гнилями наблюдали у сортов Ирень, Баженка и Йолдыз. Полученная информация поможет стимулировать товаропроизводителей на проведение сортосмены, внедрение в производство новых адресных сортов, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям и различному уровню технологической оснащенности хозяйств.

Список литературы

1. Гончаров Н. П., Косолапов В. М. Селекция растений – основа продовольственной безопасности России. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;25(4):361–366. DOI: https://doi.org/10.18699/VJ21.039 EDN: MAZDRX

2. Ефимов В. М., Речкин Д. В., Гончаров Н. П. Многомерный анализ многолетних климатических данных в связи с урожайностью, скороспелостью и проблемой глобального потепления. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2024;28(2):155–165. DOI: https://doi.org/10.18699/vjgb-24-18 EDN: JHKKZL

3. Ленточкин А. М. Слагаемые продуктивности сортов яровой пшеницы. Аграрный вестник Урала. 2023;23(9):41–51. DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-09-41-51 EDN: AVIXNB

4. Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко Н. А., Дедушев И. А., Ромахана В. В., Болдырев М. А. Урожайность, пластичность, стабильность и гомеостатичность сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(1):38–47. DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-38-47 EDN: FBPVLW

5. Богдан П. М., Коновалова И. В., Клыков А. Г. Влияние абиотических факторов на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Приморского края. Достижения науки и техники АПК. 2021;35(1):16–20. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10103 EDN: XMKRRI

6. Ворончихина И. Н., Ворончихин В. В., Рубец В. С., Пыльнев В. В., Клепикова А. С. Оценка коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России. Аграрный научный журнал. 2021;(8):13–18. DOI: https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp13-18 EDN: BUZZLX

7. Сапега В. А. Оценка урожайности и адаптивного потенциала сортов яровой пшеницы при госсортоиспытании в условиях Тюменской области. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022;(2(208)):5–11. DOI: https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-208-2-5-11 EDN: UKQMJX

8. Бесалиев И. Н., Панфилов А. Л., Регер Н. С. Условия вегетации и продолжительность межфазных периодов вегетации яровой мягкой пшеницы в засушливых условиях. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(4(56)):19–24. DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-4-19-24 EDN: NWPTRM

9. Амелин А. В., Чекалин Е. И., Заикин В. В., Мазалов В. И., Городов В. Т., Икусов Р. А. Сравнительная характеристика современных сортов яровой и озимой пшениц в связи с селекцией на высокую и качественную урожайность зерна в условиях Центрально-Черноземного региона России. Вестник аграрной науки. 2019;(6(81)):9–17. DOI: https://doi.org/10.15217/issn2587-666X.2019.6.9 EDN: TMNEJY

10. Келер В. В., Овчинникова Т. Г. Роль экологических условий в формировании клейковины у яровой пшеницы. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021;(5):19–27. DOI: https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-5-19-27 EDN: IOUUKP

11. Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Оценка потребительских свойств зерна селекционных линий яровой мягкой пшеницы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):204–211. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.204-211 EDN: XFTDWY

12. Михина Н. Г., Бухонова Ю. В. Мониторинг вредителей и болезней зерновых колосовых культур. Защита и карантин растений. 2024;(1):20–26. DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2024_1_20 EDN: XOJYKE

13. Фадеева И. Д., Курмакаев Ф. Ф. Оценка сортов озимой пшеницы на устойчивость к листовым грибным болезням. Зернобобовые и крупяные культуры. 2023;(3(47)):61–67. DOI: https://doi.org/10.24412/2309-348X-2023-3-61-67 EDN: DBHYNM

14. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Вредоносность фузариоза колоса яровой пшеницы и поиск устойчивых генотипов для селекции. Пермский аграрный вестник. 2024;(3(47)):64–70.
DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2024_47_64 EDN: DRDAPF

References

1. Goncharov N. P., Kosolapov V. M. Plant breeding is the food security basis in the russian federation. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;25(4):361–366. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/VJ21.039

2. Efimov V. M., Rechkin D. V., Goncharov N. P. Multivariate analysis of long-term climate data in connection with yield, earliness and the problem of global warming. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2024;28(2):155–165. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/vjgb-24-18

3. Lentochkin A. M. Productivity components of spring wheat varieties. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2023;23(9):41–51. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-09-41-51

4. Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko N. A., Dedushev I. A., Romakhina V. V., Boldyrev M. A. Yield, plasticity, stability and homeostasis of spring barley cultivars in the Non-Black Earth Region. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022;183(1):38–47. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-38-47

5. Bogdan P. M., Konovalova I. V., Klykov A. G. Influence of abiotic factors on yield and grain quality of spring common wheat under conditions of the Primorsky territory. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2021;35(1):16–20. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10103

6. Voronchikhina I. N., Voronchikhin V. V., Rubets V. S., Pyl'nev V. V., Klepikova A. S. Evaluation of the spring soft wheat collection in the conditions of the central region of the Non-chernozem zone of Russia. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2021;(8):13–18. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp13-18

7. Capega V. A. Evaluation of yielding capacity and adaptive potential of spring wheat varieties during state variety testing under the conditions of the Tyumen region. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2022;(2(208)):5–11. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-208-2-5-11

8. Besaliev I. N., Panfilov A. L., Reger N. S. Vegetation conditions and duration of interphase vegetation periods of spring soft wheat in dry conditions. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2021;(4(56)):19–24. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-4-19-24

9. Amelin A. V., Chekalin E. I., Zaikin V. V., Mazalov V. I., Gorodov V. T., Ikusov R. A. Comparative characteristics of modern varieties of spring and winter wheat in connection with breeding for high and high-quality grain yield in the Central Black earth region of Russia. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of Agrarian Science. 2019;(6(81)):9–17. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15217/issn2587-666X.2019.6.9

10. Keler V. V., Ovchinnikova T. G. The role of ecological conditions in the formation of gluten in spring wheat. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2021;(5):19–27. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-5-19-27

11. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G. Evaluation of consumer properties of grain of spring soft wheat selection lines. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(2):204–211. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.204-211

12. Mikhina N. G., Bukhonova Yu. V. Monitoring for insect pests and diseases of cereal crops. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2024;(1):20–26. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2024_1_20

13. Fadeeva I. D., Kurmakaev F. F. Evaluation of winter wheat varieties for resistance to leaf fungal diseases. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2023;(3(47)):61–67. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24412/2309-348X-2023-3-61-67

14. Shchekleina L. M., Sheshegova T. K. Harmfulness of fusarium head blight of spring wheat and search for resistant genotypes for breeding. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2024;(3(47)):64–70. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2024_47_64

Сведения об авторе

✉ **Волкова Людмила Владиславовна**, кандидат биол. наук, зав. лабораторией, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0837-8425,**
e-mail: volkovkirov@mail.ru

Information about the author

✉ **Lyudmila V. Volkova,** PhD in Biology, Head of the Laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0837-8425,** 610007, e-mail: volkovkirov@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.546–554
УДК 634.75:577.214.32

(cc) BY

Скрининг коллекции земляники садовой на наличие локусов резистентности *Rca2* и *08 To-f*

© 2025. А. В. Худякова, М. Г. Маркова✉
ФГБНУ «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Российская Федерация

Земляника садовая (Fragaria × ananassa Duch.) является одной из наиболее распространенных возделываемых ягодных культур. Огромный ущерб промышленным насаждениям наносят грибковые заболевания. Основной задачей современной селекции является выведение сортов земляники с генетическими детерминантами устойчивости к различным патогенам. Цель исследований – анализ сортов земляники садовой отечественной и зарубежной селекции с помощью ДНК-маркеров к локусам резистентности к антракнозной гнили (Rca2) и мучнистой росе (08 To-f). Объекты исследования – 32 сортообразца земляники садовой коллекции отдела интродукции и акклиматизации растений Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, в том числе 21 образец отечественной и 11 зарубежной селекции. Для выявления генов устойчивости земляники садовой использовали сцепленные с ними доминантные диагностические ДНК-маркеры STS-Rca2_240 и IB535110. Контроль протекания ПЦР проводили с использованием маркера EMFv020. В результате молекулярно-генетического скрининга ген устойчивости к антракнозу Rca2 был обнаружен у одного сорта отечественной селекции (Красная пчелка, Россия) и одного – зарубежной (Malling Pandora, Великобритания). QTL 08 To-f выявлен у четырех сортов коллекции: одного сорта отечественной селекции (Дуэт) и трех – зарубежной (Malwina, Германия; Marmion, Шотландия; Malling Pandora). Всего среди анализируемых генотипов земляники садовой маркер STS-Rca2_240 обнаружили у 6,3 % изучаемых форм, маркер IB535110 – у 12,5 %. Комплексным источником аллелей резистентности Rca2 и QTL 08 To-f являлся сорт Malling Pandora. Выявленные перспективные генисточники будут использованы в селекционной программе получения устойчивых к грибным патогенам сортов земляники садовой.

Ключевые слова: *Fragaria × ananassa, антракнозная черная гниль, мучнистая роса, устойчивость, ДНК-маркеры, полимеразная цепная реакция*

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Худякова А. В., Маркова М. Г. Скрининг коллекции земляники садовой на наличие локусов резистентности *Rca2* и *08 To-f*. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):546–554.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.546-554

Поступила: 25.02.2025 Принята к публикации: 11.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Screening of the strawberry collection for the presence of resistance loci *Rca2* and *08 To-f*

© 2025. Anna V. Khudyakova, Marina G. Markova ✉
Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russian Federation

Garden strawberry (Fragaria × ananassa Duch.) is one of the most common cultivated berry crops. Fungal diseases cause enormous damage to industrial plantings. The main task of modern breeding is to create strawberry cultivars with genetic determinants of resistance to various pathogens. The aim of the research was to identify the resistance loci of Russian and foreign strawberry cultivars to anthracnose (Rca2) and powdery mildew (08 To-f) using DNA markers. The objects of the study were 32 strawberry cultivars from the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences collection, including 21 samples of Russian strawberry cultivars and 11 of foreign breeding. The dominant diagnostic DNA markers STS-Rca2_240 and IB535110 were used to identify the resistance genes of the strawberry. PCR monitoring was performed using the EMFv020 marker. As a result of molecular genetic screening, the anthracnose resistance gene Rca2 was detected in one Russian strawberry cultivar ('Krasnaya pchelka', Russia) and in one foreign cultivar ('Malling Pandora', Great Britain). QTL 08 To-f was detected in four cultivars of the collection: one Russian strawberry cultivar ('Duet') and three foreign cultivars ('Malwina', Germany; 'Marmion', Scotland; 'Malling Pandora'). In total, among the analyzed strawberry genotypes, marker STS-Rca2_240 was detected in 6.3 % of the studied forms, and the marker IB535110 in 12.5 %. The complex source of Rca2 and QTL 08 To-f resistance alleles was only the 'Malling Pandora' cultivar. The identified promising genetic sources will be used in the breeding program for producing of fungal pathogens resistant garden strawberry cultivars.

Key words: *Fragaria × ananassa, anthracnose, powdery mildew, resistance, DNA markers, polymerase chain reaction*

Acknowledgment: the research was carried out under the support of the Ministry of Science of the Russian Federation within the state assignment of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. FUUE-2024-0012).

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

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

For citation: Khudyakova A. V., Markova M. G. Screening of the strawberry collection for the presence of resistance loci *Rca2* and *08 To-f. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):546–554. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.546-554

Received: 25.02.2025 Accepted for publication: 11.06.2025 Published online: 30.06.2025

Земляника (*Fragaria* L.) – род многолетних травянистых растений, насчитывающий около 25 видов различного уровня плоидности (2x, 4x, 6x, 8x, 10x) с базовым числом хромосом x = 7 [1]. Культивируемые сорта земляники садовой (*F.* × *ananassa* Duch.) относятся к аллооктоплоидному виду, который произошел от диких предков из Северной и Южной Америки [2]. В силу своей питательной ценности, вкусовых качеств и высокой адаптивной способности к различным условиям она является одной из наиболее распространенных возделываемых ягодных культур в Среднем Предуралье [3]. Ягоды земляники садовой обладают диетическими и лечебными свойствами, скороспелостью и ранним сроком созревания. Данная культура по созреванию – вторая, после жимолости. Период плодоношения земляники довольно непродолжителен и составляет в условиях данного региона России примерно месяц. Поэтому выведение новых сортов с продолжительным плодоношением и высокими адаптационными способностями к условиям региона выращивания очень актуально [4].

В связи с меняющимися климатическими условиями в Удмуртской Республике возникла необходимость применения современных методов селекции земляники садовой, которые дают возможность на ранних этапах выявлять образцы, обладающие ценными хозяйственными и биологическими признаками. Подобный подход позволяет создавать сорта с желаемым набором полезных признаков, адаптированных к конкретной природно-климатической зоне [5].

Основной задачей современной селекции является выведение сортов земляники садовой с генетическими детерминантами устойчивости к различным патогенам. Приемы классической селекции, основанные на целенаправленном скрещивании и отборе лучших форм, требуют кропотливой и длительной работы, поэтому в последнее время селекционеры стали использовать методы маркер-ориентированной селекции (Marker assisted selection, MAS). Использование диагностических ДНК-маркёров позволяет сократить срок создания сорта, снизить финансовые затраты, экономить на трудовых и энергетических ресурсах [6, 7].

F. × *ananassa* Duch. – сложный для молекулярно-генетического анализа объект. Высокий уровень плоидности (8*x*), совмещение в генотипе различных базовых геномов, сложные генные взаимодействия и полигенный контроль признаков затрудняют изучение генетической структуры земляники. Устойчивость земляники к возбудителям различных заболеваний в большинстве случаев также контролируется полигенно. В настоящее время к некоторым патогенам (*Colletotrichum acutatum* Simmonds, *Phytophthora fragariae* var. *fragariae* Hickman) выявлены моногенные факторы устойчивости, что позволяет вести эффективный скрининг устойчивых генотипов с использованием молекулярных маркеров [8, 9].

Сорта земляники садовой восприимчивы к многим грибным заболеваниям. К числу распространенных заболеваний земляники, наносящих значительный ущерб насаждениям, относятся антракнозная гниль и мучнистая роса [10].

Фитопатогены рода *Colletotrichum* вызывают антракноз земляники, проявляющийся в виде гнили плодов, ожога цветков, пятнистости листьев, язв на стеблях и черешках, загнивания рожков. Растения земляники поражает ряд видов, наибольшей вредоносностью из которых обладает *C. acutatum* [11, 12]. Устойчивость земляники к антракнозу может контролироваться как полигенно (для *C. acutatum* первой группы патогенности), так и моногенно (для *C. acutatum* второй группы патогенности), в частности доминантным геном *Rca2*. Для детекции данного гена разработаны два молекулярных маркера: STS-Rca2_240 и STS-Rca2_417. Стоит отметить, что наличие последнего, по мнению некоторых авторов, не коррелирует с устойчивостью [13].

Устойчивость земляники садовой к мучнистой росе (*Sphaerotheca macularis* Mag. f. *fragariae* Jacz.) является сложным признаком и контролируется полигенно. Для выявления устойчивости к мучнистой росе на землянике используют молекулярно-генетический анализ по локусу *08 To-f*, для которого разработаны два диагностических ДНК-маркера: IB535110 и IB533828 [14].

Сорта земляники различаются по устойчивости к *S. macularis* f. *fragariae*, причём устойчивость большинства отечественных и зарубежных сортов недостаточна и требуется проведение защитных мероприятий. Перспективным направлением повышения устойчи-

вости земляники к мучнистой росе является выделение и возделывание сортов, устойчивость которых к *S. macularis* f. *fragariae* обусловлена генетическими детерминантами [15].

Цель исследований – проанализировать сорта земляники садовой отечественной и зарубежной селекции с помощью ДНК-маркеров к локусам резистентности антракнозной гнили (*Rca2*) и мучнистой росы (*08 To-f*).

Научная новизна – проведен молекулярно-генетический скрининг коллекции земляники садовой отдела интродукции и акклиматизации растений Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук. Выявлены перспективные генисточники устойчивости к антракнозу и мучнистой росе. Сорта с идентифицированными локусами представляют большой интерес как доноры устойчивости для выведения новых сортов *Fragaria* × *ananassa*.

Материал и методы. В 2024 году на базе отдела интродукции и акклиматизации растений УдмФИЦ УРО РАН создана коллекция генетических источников земляники садовой.

Биологическими объектами исследования служили 32 сортообразца земляники садовой данной коллекции, в том числе 21 образец отечественной и 11 – зарубежной селекции (табл. 1).

Таблица 1 – **Анализируемые сорта земляники садовой** /
Table 1 – **Analyzed strawberry cultivars**

Сорт / Cultivar	*Оригинатор, происхождение / Originator, origin*
1	2
Акварель / ‘Akvarel`’	ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН», Россия / Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation
Алтын / ‘Alty`n’	
Бова / ‘Bova’	
Даренка / ‘Darenka’	
Дуэт / ‘Due`t’	
Виола / ‘Viola’	
Италмас / ‘Italmas’	
Орлец / ‘Orlecz’	
Торпеда / ‘Torpeda’	
Форсаж / ‘Forsazh’	
Ярославна / ‘Yaroslavna’	
Соловушка / ‘Solovushka’	ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Россия / Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Russian Federation
Первоклассница / ‘Pervoklassnicza’	ФГБНУ НИИ садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко, Россия / Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia, Russian Federation
Фестивальная / ‘Festival`naya’	Павловская опытная станция ВИР, Россия / Pavlovsk Experimental station VIR, Russian Federation
Фейерверк / ‘Fejerverk’	Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина, Россия / I. V. Michurin Federal Scientific Center, Russian Federation
Царица / ‘Czaricza’	ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», Россия / Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Russian Federation
Гордость Урала / ‘Gordost` Urala’	Агрофирма «Уральский дачник», Россия / Agricultural Company «Uralsky Dachnik», Russian Federation
Карамель / ‘Karamel`’	
Красная пчелка / ‘Krasnaya pchelka’	Агрофирма «Сибирский сад», Россия / Agricultural Company «Siberian Garden», Russian Federation
Настя F1 / ‘Nastya F1’	Агрофирма «Аэлита» Россия / Agricultural Company «Aelita», Russian Federation
Любаша / ‘Lyubasha’	
‘Cabrillo’	Калифорнийский университет в Дéйвисе, США / University of California Davis, USA

Продолжение табл. 1

1	2
‘Kimberly’	Агрофирма Vissers Aardbeiplanten, Нидерланды / Vissers Aardbeiplanten, Netherlands
‘Corona’	Институт селекции плодоовощных культур, Нидерланды / Institute of Fruit and Vegetable Crop Breeding, Netherlands
‘Salsa’	Агрофирма Fresh Forward, Нидерланды / Fresh Forward, Netherlands
‘Malwina’	Германия / Germany
‘Black Prince’	Италия / Italy
‘Murano’	Италия / Italy
‘Marmion’	Шотландия / Scotland
‘Cisojee’	Франция / France
‘Malling Pandora’	Исследовательская станция Ист-Маллинг, Великобритания / East Malling Research Station, Great Britain
‘Olvia’	Киевский институт садоводства, Украина / The Institute of Horticulture of the National Academy of Ukraine, Ukraine

Выделение ДНК проводили с использованием набора «МагноПрайм® ФИТО» согласно инструкции производителя (ООО «НекстБио», г. Москва). Материалом для выделения служили молодые листья земляники садовой.

Для выявления генов устойчивости земляники садовой использовали сцепленные с ними доминантные диагностические ДНК-маркеры (табл. 2) [16, 17, 18]. Праймеры были синтезированы ЗАО «Синтол» (г. Москва).

Таблица 2 – **ДНК-маркеры, используемые для молекулярно-генетического анализа земляники садовой /**
Table 2 **– DNA markers used for molecular genetic analysis of strawberry**

Признак / Characteristic	*Локус / Loci*	*Маркер / Marker*	*Последовательность праймеров 5’→3’/ Primer sequences 5’→3’*	*Продукт, пн / Target, bp*
Устойчивость к мучнистой росе / Resistance to powdery mildew	*08 To-f*	IB535110	F acacatatatgaatcggagcca R gctcaagatgctcaatcgaa	500
Устойчивость к антракнозу / Resistance to anthracnose	*Rca2*	STS-Rca2_240	F gccacgtcactagtcaaattcaa R tcatggacagtggtctcagc	240
Контроль ПЦР / PCR Control		EMFv020	F caggcgccaacggcgtgctcttgt R cagcgccgccagctcatccctagg	154

Полимеразную цепную реакцию проводили в микропробирках в общем объеме 25 мкл. Использовали готовую 2,5х реакционную смесь для ПЦР, изготовленную ЗАО «Синтол» (г. Москва). Амплификацию проводили по описанным авторами программам на Trident 960, HealForce (Китай). Электрофоретическое разделение продуктов реакции осуществляли в 2%-ном агарозном геле в трисборатном буфере при напряженности электрического поля 6 В/см («ДНК-Технология», Россия). Для оценки молекулярной массы фрагментов ДНК использовали ДНК-маркер 100 bp + 1.5 Kb (ООО «СибЭнзим», г. Новосибирск). Визуализацию полос и документирование данных осуществляли после окрашивания геля бромистым этидием с использованием системы визуализации гелей MaXidoc G2 (DAIHAN Scientific, Китай).

Результаты и их обсуждение. Молекулярный маркер EMFv020 использовали в дуплексной реакции с STS-Rca2_240 в качестве контроля протекания ПЦР. Данный маркер инициирует фрагменты ДНК размером 154 п.н. у всех представителей *Fragaria* L. [17]. В нашем исследовании получены четкие бэнды соответствующего размера для всех образцов, что говорит о пригодности экстрагированной ДНК для ПЦР-диагностики (рис. 1).

Среди анализируемых сортов земляники садовой диагностический маркер STS-Rca2_240, сцепленный с геном устойчивости к антракнозу *Rca2*, был обнаружен у одного сорта отечест-

венной селекции (Красная пчелка) и одного – зарубежной (Malling Pandora). Пример электрофореграммы представлен на рисунке 1. Поскольку данный маркер является доминантным и не выявляет аллельное состояние гена, то предположительно ген *Rca2* данных сортов может находиться как в гомозиготном (*Rca2Rca2*), так и в гетерозиготном (*Rca2rca2*) состоянии.

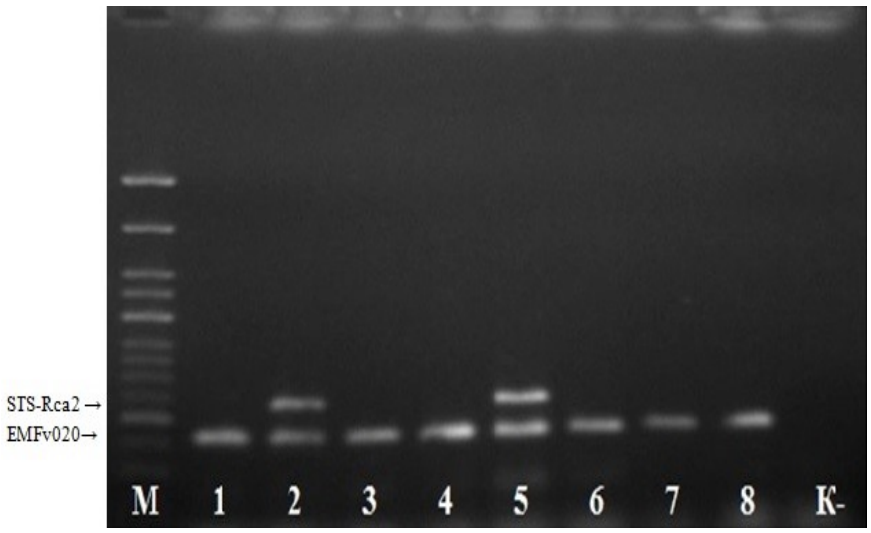


Рис. 1. **Электрофоретический профиль маркеров STS-Rca2_240 и EMFv020 генотипов земляники садовой:** М – маркер молекулярного веса; 1 – Торпеда; 2 – Красная пчелка; 3 – Ярославна; 4 – Первоклассница; 5 – Malling Pandora; 6 – Фейерверк; 7 – Царица; 8 – Гордость Урала; К – отрицательный контрольный образец /

Fig. 1. **Electrophoresis profile of markers STS-Rca2_240 and EMFv020 of strawberry genotypes:** M – Molecular weight marker; 1 – 'Torpeda'; 2 – 'Krasnaya pchelka'; 3 – 'Yaroslavna'; 4 – 'Pervoklassnica'; 5 – 'Malling Pandora'; 6 – 'Fejerverk'; 7 – 'Carica'; 8 – 'Gordost' Urala'; K- – negative control

Маркер IB535110, сцепленный с локусом резистентности к мучнистой росе *08 To-f*, выявлен у четырех сортов коллекции: одного сорта отечественной селекции (Дуэт) и трех – зарубежной (Malwina, Marmion и Malling Pandora) (рис. 2).

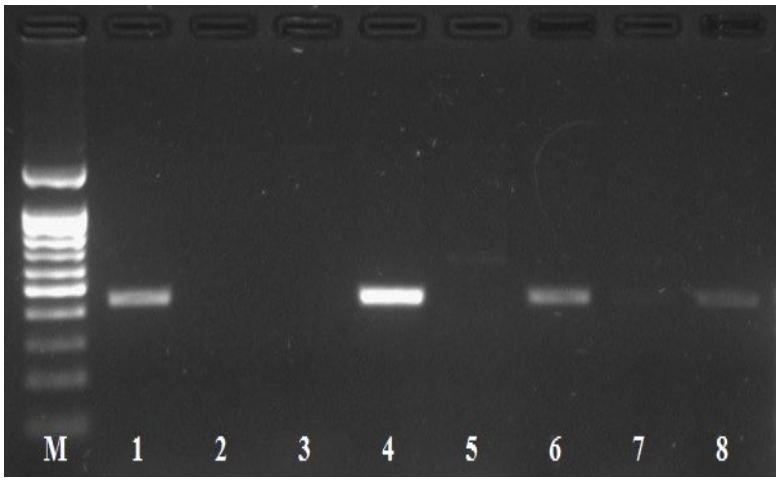


Рис.2. **Электрофоретический профиль маркера IB535110 генотипов земляники садовой:** М – маркер молекулярного веса; 1 – Дуэт; 2 – Форсаж; 3 – Ярославна; 4 – Malwina; 5 – Царица; 6 – Marmion; 7 – Cisojee; 8 – Malling Pandora /

Fig.2. **Electrophoresis profile of markers IB535110 of strawberry genotypes:** M – Molecular weight marker; 1 – 'Duet'; 2 – 'Forsazh'; 3 – 'Yaroslavna'; 4 – 'Malwina'; 5 – 'Carica'; 6 – 'Marmion'; 7 – 'Cisojee'; 8 – 'Malling Pandora'

Всего среди 32 анализируемых генотипов земляники садовой маркер STS-Rca2_240 выявлен у 6,3 % форм, а IB535110 – у 12,5 %. Следует отметить, что последний чаще детектировал у сортов зарубежной селекции (27,3 %), чем отечественной (4,8 %). В работе других авторов [12] частота встречаемости маркера STS-Rca2_240 у отечественных сортов была значительно

выше – 18,1 %. В целом при анализе литературы можно сделать вывод о том, что генетические детерминанты устойчивости к мучнистой росе встречаются чаще, чем таковые к антракнозу [15, 19].

Среди всех изученных генотипов оба ДНК-маркера обнаружили только у Malling Pandora. Данный сорт, таким образом, является комплексным источником аллелей резистентности *Rca2* и QTL *08 To-f* и перспективен для селекции земляники на устойчивость к грибным патогенам.

Полученные нами результаты согласуются с литературными данными. Так, авторы А. С. Лыжин и И. В. Лукъянчук в своей работе показали, что сорт Malwina не поражался мучнистой росой за период с 2018 по 2022 год. Более того, авторы детектировали QTL *08 To-f* с помощью двух диагностических ДНК-маркеров: IB535110 и IB533828 [20]. Эта информация отражена в описании сорта[1].

И. Э. Храбров с соавт. [11] в работе по молекулярному скринингу коллекции земляники ВИР на наличие гена устойчивости к антракнозу выявили данный локус у сорта Malling Pandora. Изучение устойчивости к мучнистой росе по этому сорту они не проводили.

Для сортов Красная пчелка, Дуэт и Marmion молекулярно-генетических данных в литературе нами не обнаружено. Из фенологического описания сортов следует, что они характеризуются устойчивостью к ряду заболеваний.

Авторы сорта Дуэт – И. И. Богданова, Е. Ю. Невоструева (Свердловская селекционная станция садоводства). Получен от свободного опыления сорта Талка. Сорт обладает высокой зимостойкостью, урожайный, с высокой товарностью и транспортабельностью ягод, слабо поражается серой гнилью, пятнистостями листьев, слабо повреждается земляничным клещом [21].

Сорт Marmion выведен в Шотландии. Раннеспелый, ягоды красно-малиновые десертного вкуса с земляничным ароматом, очень крупные (до 90 г). Обладает хорошей зимостойкостью в нашем регионе, устойчив к пятнистостям.

Ремонтантный сорт Красная пчелка выведен в 2023 г, автором и производителем семян является агрофирма «Сибирский Сад» (г. Новосибирск). Плодоношение в нашем регионе начинается в конце июня и продолжается до начала заморозков (октябрь). Ягоды массой 10–20 г. с отличными вкусовыми качествами. В настоящее время данных по устойчивости к фитопатогенам нет, сорт находится в изучении.

Поиск новых сортов с комплексом генов устойчивости к фитопатогенам является актуальной задачей селекционеров. Так, А. С. Лыжиным и И. В. Лукъянчук на 42 сортах отечественной селекции было показано, что маркер STS-Rca2_240 встречался только у 7,1 % коллекции, тогда как маркер IB535110 – у 14,3 % [15]. Этими же авторами при исследовании 20 генотипов земляники (15 сортов земляники отечественной и зарубежной селекции и 5 дикорастущих видов) было детектировано 3 генотипа, несущих ген *Rca2* (15 %), и 8 – QTL *08 To-f* (40 %) [19]. Два маркера содержали сорта Сударушка и Troubadour.

М. Келдибекова с соавт. (M. Keldibekova et al.) [22] исследовали 29 сортов земляники различного экологического и географического происхождения. Маркер резистентности к антракнозу был обнаружен только у трех видов, что составило 10,3 % изучаемых форм.

В связи с неоспоримой значимостью земляники садовой на мировом рынке постоянно ведутся способы совершенствования её сортимента, что обуславливает постоянный поиск новых и совершенствование существующих способов изучения селекционных ресурсов растений. Продолжается поиск диагностических ДНК-маркеров хозяйственно важных признаков. Так, относительно недавно на 6B хромосоме был картирован ген *FaRCa1*, обеспечивающий устойчивость к *C. acutatum* первой группы патогенности [9]. Для него разработаны HRM-маркеры (High Resolution Melting, анализ кривых плавления с высоким разрешением), которые авторы рекомендуют для использования селекционерам.

Заключение. Таким образом, в результате молекулярно-генетического скрининга коллекции сортов земляники садовой отдела интродукции и акклиматизации растений Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук выявлены сорта, содержащие локусы *Rca2* и QTL *08 To-f*. Источниками генов устойчивости к антракнозной гнили являются сорта Красная пчелка и Malling Pandora (6,3 % коллекции).

[1]Автором сорта является немецкий селекционер Питер Стоппел. Появился сорт при скрещивании Софи х Schimmelpfeng х Weihenstefan. Позднеспелый сорт с крупными, сладкими с ароматом лесной земляники ягодами от малинового до почти вишнёвого цвета массой 40–45. Устойчив к большинству болезней и вредителей, в частности к вертициллезному увяданию и мучнистой росе.

Локус резистентности к мучнистой росе детектировали у Дуэт, Malwina, Marmion и Malling Pandora (12,5 %). Особый интерес для селекции представляет сорт Malling Pandora, в геноме которого совмещены аллели резистентности к патогенам *C. acutatum* и *S. macularis* f. *fragariae*. Генотипы земляники садовой с идентифицированными локусами резистентности могут быть использованы в селекции как перспективные доноры устойчивости к грибным патогенам.

Список литературы

1. Лыжин А. С., Лукъянчук И. В. Генетическое разнообразие дикорастущих видов и сортов земляники по гену *FanAAMT* ароматического комплекса плодов. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):72–80. DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-72-80 EDN: CPUXNY

2. Whitaker V. M., Knapp S. J., Hardigan M. A., Edger P. P., Slovin J. P., Bassil N. V. et al. A roadmap for research in octoploid strawberry. Horticulture Research. 2020;7:33. DOI: https://doi.org/10.1038/s41438-020-0252-1

3. Марченко Л. А. Методы и способы исследований для решения задач селекции земляники садовой (Аналитический обзор). Вестник КрасГАУ. 2021;(9):59–68. DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-9-59-68 EDN: TCVITT

4. Невоструева Е. Ю., Андреева Г. В., Павлова О. А. Совершенствование сортимента земляники для Волго-Вятского региона. Современное садоводство. 2021;(1):28–35.
DOI: https://doi.org/10.52415/23126701_2021_0104 EDN: YXKAMR

5. Куликов И. М., Евдокименко С. Н., Тумаева Т. А., Келина А. В., Сазонов Ф. Ф., Андронова Н. В., Подгаецкий М. А. Научное обеспечение ягодоводства России и перспективы его развития. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;25(4):414–419. DOI: https://doi.org/10.18699/VJ21.046 EDN: ASGGAN

6. Дейнеко Е. В. Модификация генома растений методами генетической инженерии: направления и пути развития. Физиология растений. 2024;71(5):487–501. DOI: https://doi.org/10.31857/s0015330324050017 EDN: MNFGJU

7. Чекушкина Т. Н., Барсукова Е. Н. Применение методов биотехнологии в селекции земляники садовой (обзор). Аграрная Россия. 2022;(12):12–18. DOI: https://doi.org/10.30906/1999-5636-2022-12-12-18 EDN: OJCSRD

8. Рахмангулов Р. С., Барабанов И. В., Ерастенкова М. В., Иванов А. А., Коваленко Т. М., Межина К. М. и др. Новые направления в генетике, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур в ВИР им. Н. И. Вавилова. Биотехнология и селекция растений. 2022;5(4):65–78.
DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2022-4-o3 EDN: GRLNFU

9. Salinas N., Fan Z., Peres N., Lee S., Whitaker V. M. FaRCa1 confers moderate resistance to the root necrosis form of strawberry anthracnose caused by Colletotrichum acutatum. HortScience. 2020;55(5):693–698.
DOI: https://doi.org/10.21273/HORTSCI14807-20

10. Цветкова Ю. В., Кузнецова А. А. Выявление антракноза земляники и методы диагностики возбудителей заболевания. Микология и фитопатология. 2022;56(2):140–152.
DOI: https://doi.org/10.31857/S0026364822020118 EDN: QBZNGF

11. Храбров И. Э., Антонова О. Ю, Шаповалов М. И., Семенова Л. Г. Молекулярный скрининг сортовой коллекции земляники ВИР на наличие маркера гена устойчивости к антракнозной черной гнили *Rca2*. Биотехнология и селекция растений. 2021;4(4):15–24. DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-4-o3 EDN: LVGPMW

12. Лыжин А. С., Лукъянчук И. В. Аллельное разнообразие локусов устойчивости к патогенам у сортов земляники отечественной селекции и перспективы совершенствования сортимента. Таврический вестник аграрной науки. 2024;(4(40)):147–157. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.14184676 EDN: XYNNUY

13. Храбров И. Э., Антонова О. Ю., Шаповалов М. И., Семёнова Л. Г. Устойчивость земляники к основным грибным фитопатогенам: R-гены и их ДНК-маркеры. Биотехнология и селекция растений. 2019;2(3):30–40. DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2019-3-o3 EDN: ZAKLPL

14. Лыжин А. С., Лукъянчук И. В. Молекулярный скрининг образцов земляники генетической коллекции «ФНЦ им. И. В. Мичурина» по локусу *08 To-f* устойчивости к мучнистой росе. Таврический вестник аграрной науки. 2024;(1(37)):103–111. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.10926231 EDN: IGATQH

15. Лыжин А. С., Лукъянчук И. В. Молекулярный скрининг аллелей резистентности *08 To-f*, *Rca2* и *Rpf1* в гибридном потомстве земляники садовой для идентификации форм с комплексной устойчивостью к грибным патогенам. Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2024;10(2):105–110.
DOI: https://doi.org/10.18699/letvjgb-2024-10-12 EDN: BHUUFJ

16. Koishihara H., Enoki H., Muramatsu M., Nishimura S., Susumu Y. U. I., Honjo M. Marker associated with powdery mildew resistance in plant of genus *Fragaria* and use there of U.S.: Patent No. 10,724,093. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. 2020.

17. Hadonou A. M., Sargent D. J., Wilson F., James C. M., Simpson D. W. Development of microsatellite markers in Fragaria, their use in genetic diversity analysis, and their potential for genetic linkage mapping. Genome. 2004;47(3):429–438. DOI: https://doi.org/10.1139/g03-142

18. Lerceteau-Kohler E., Guerin G., Denoyes-Rothan B. Identification of SCAR markers linked to Rca2 anthracnose resistance gene and their assessment in strawberry germplasm. Theoretical and Applied Genetics. 2005;111:862–870. DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-005-0008-1

19. Лыжин А. С., Лукъянчук И. В. Использование ДНК-маркеров в селекции земляники садовой на устойчивость к патогенам (*Sphaerotheca macularis*, *Colletotrichum acutatum*, *Phytophthora fragariae var. fragariae*). Современное садоводство. 2023;(4):12–22. DOI: https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0402 EDN: OUQZDW

20. Лыжин А. С., Лукъянчук И. В. Изучение генетической коллекции земляники (*Fragaria* L.) по устойчивости к мучнистой росе. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2024;28(2):166–174. DOI: https://doi.org/10.18699/vjgb-24-19 EDN: BBAAVI

21. Невоструева Е. Ю., Багмет Л. В. Номенклатурные стандарты сортов земляники селекции свердловской селекционной станции садоводства. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):846–854. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.846-854 EDN: JAJNJD

22. Keldibekova M., Bezlepkina E., Zubkova M., Dolzhikova M. DNA-screening of strawberry cultivars and hybrids (*Fragaria ananassa* Duch.) for resistance to fungal diseases. Pakistan Journal of Botany. 2024;56(2):29. DOI: https://doi.org/10.30848/PJB2024-2(29) EDN: PTJQUY

References

1. Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V. Genetic diversity in wild species and cultivars of strawberry for the *FanAAMT* gene controlling fruit flavor volatiles. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2021;182(2):72–80. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-72-80

2. Whitaker V. M., Knapp S. J., Hardigan M. A., Edger P. P., Slovin J. P., Bassil N. V. et al. A roadmap for research in octoploid strawberry. Horticulture Research. 2020;7:33. DOI: https://doi.org/10.1038/s41438-020-0252-1

3. Marchenko L. A. Research methods and ways in strawberry breeding problems solution (Analytical review). *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2021;(9):59–68. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-9-59-68

4. Nevostrueva E. Yu., Andreeva G. V., Pavlova O. A. Improving the assortment of strawberries for the Volga-Vyatka region. *Sovremennoe sadovodstvo* = Cotemporary horticulture. 2021;(1):28–35. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52415/23126701_2021_0104

5. Kulikov I. M., Evdokimenko S. N., Tumaeva T. A., Kelina A. V., Sazonov F. F., Andronova N. V., Podgaetskiy M. A. Scientific support of small fruit growing in Russia and prospects for its development. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;25(4):414–419. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/VJ21.046

6. Deyneko E. V. Modification of the plant genome by genetic engineering methods: directions and ways of development. *Fiziologiya rasteniy* = Russian Journal of Plant Physiology. 2024;71(5):487–501. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/s0015330324050017

7. Chekushkina T. N., Barsukova E. N. Biotechnological methods in the selection of *Fragaria* × *Ananassa* Duch. (review). *Agrarnaya Rossiya* = Agrarian Russia. 2022;(12):12–18. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30906/1999-5636-2022-12-12-18

8. Rakhmangulov R. S., Barabanov I. V., Erastenkova M. V., Ivanov A. A., Kovalenko T. V., Mezhina K. M. et al. The new directions in genetics, breeding and biotechnology of ornamental and berry crops in the N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR). *Biotekhnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2022;5(4):65–78. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2022-4-o3

9. Salinas N., Fan Z., Peres N., Lee S., Whitaker V. M. FaRCa1 confers moderate resistance to the root necrosis form of strawberry anthracnose caused by Colletotrichum acutatum. HortScience. 2020;55(5):693–698. DOI: https://doi.org/10.21273/HORTSCI14807-20

10. Tsvetkova Yu. V., Kuznetsova A. A. Identification of strawberry anthracnose and methods for diagnosing causative agents of the disease. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 2022;56(2):140–152. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0026364822020118

11. Khrabrov I. E., Antonova O. Yu., Shapovalov M. I., Semenova L. G. Molecular screening of the VIR strawberry varieties collection for the presence of a marker for the anthracnose black rot resistance gene *Rca2*. *Biotekhnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2021;4(4):15–24. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-4-o3

12. Lyzhin A. S., Lukyanchuk I. V. Allelic diversity of pathogen resistance loci in russian strawberry varieties and prospects for improving the assortment. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2024;(4(40)):147–157. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.14184676

13. Khrabrov I. E., Antonova O. Yu., Shapovalov M. I., Semenova L. G. Strawberry resistance to the major fungal phytopathogens: R-genes and their DNA markers. *Biotekhnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2019;2(3):30–40. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2019-3-o3

14. Lyzhin A. S., Lukyanchuk I. V. Molecular screening of strawberry accessions from the "I.V. Michurin FSC" genetic collection by *08 To-f* powdery mildew resistance locus. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2024;(1(37)):103–111. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.10926231

15. Lyzhin A. S., Lukyanchuk I. V. Molecular screening of resistance alleles *08 To-f*, *Rca2* and *Rpf1* in strawberry hybrid progeny for identify forms with complex resistance to fungal pathogens. *Pis'ma v Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Letters to the Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2024;10(2):105–110. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/letvjgb-2024-10-12

16. Koishihara H., Enoki H., Muramatsu M., Nishimura S., Susumu Y. U. I., Honjo M. Marker associated with powdery mildew resistance in plant of genus *Fragaria* and use there of U.S.: Patent No. 10,724,093. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. 2020.

17. Hadonou A. M., Sargent D. J., Wilson F., James C. M., Simpson D. W. Development of microsatellite markers in Fragaria, their use in genetic diversity analysis, and their potential for genetic linkage mapping. Genome. 2004;47(3):429–438. DOI: https://doi.org/10.1139/g03-142

18. Lerceteau-Kohler E., Guerin G., Denoyes-Rothan B. Identification of SCAR markers linked to Rca2 anthracnose resistance gene and their assessment in strawberry germplasm. Theoretical and Applied Genetics. 2005;111:862–870. DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-005-0008-1

19. Lyzhin A. S., Lukyanchuk I. V. Ehe use of DNA markers in strawberry breeding for pathogen resistance. *Sovremennoe sadovodstvo* = Cotemporary horticulture. 2023;(4):12–22. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0402

20. Lyzhin A. S., Lukyanchuk I. V. Study of a genetic collection of strawberry (*Fragaria* L.) for resistance to powdery mildew. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breedin. 2024;28(2):166–174. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/vjgb-24-19

21. Nevostrueva E. Yu., Bagmet L. V. Nomenclatural standards of strawberry cultivars bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):846–854. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.846-854

22. Keldibekova M., Bezlepkina E., Zubkova M., Dolzhikova M. DNA-screening of strawberry cultivars and hybrids (*Fragaria ananassa* Duch.) for resistance to fungal diseases. Pakistan Journal of Botany. 2024;56(2):29. DOI: https://doi.org/10.30848/PJB2024-2(29)

Сведения об авторах

Худякова Анна Валерьевна, научный сотрудник, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Т. Барамзиной, 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0125-9335

✉ **Маркова Марина Геннадьевна,** научный сотрудник, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Т. Барамзиной, 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9427-6766, e-mail: markovamg@udman.ru

Information about the authors

Anna V. Khudyakova, researcher, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, st. T. Baramzinoj, 34, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0125-9335

✉ **Marina G. Markova**, researcher, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, st. T. Baramzinoj, 34, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9427-6766, e-mail: markovamg@udman.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.555–563
УДК 634.2:631.526.32

(cc) BY

Сортоизучение черемухи в Кировской области

© 2025. А. П. Софронов ✉, С. В. Фирсова, А. А. Русинов
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Цель исследований – изучить сроки прохождения основных фенологических фаз сортообразцов черемухи, оценить их по комплексу хозяйственно ценных признаков и выделить лучшие для любительского садоводства Кировской области. Объектами изучения служили 10 сортов селекции Центрального сибирского ботанического сада СО РАН и 1 форма виргинской черемухи посадки 2016 года. Вегетативный период черемухи в среднем за годы изучения составил 158 дней, что практически совпадает с продолжительностью вегетационного периода в г. Кирове (173 дня), это позволяет сделать вывод о максимальном использовании культурой тепловых ресурсов региона. В среднем за годы оценки сумма положительных температур, необходимая для начала вегетации, составила 84,2 ºС, для наступления фенологической фазы «начало цветения» – 232,2 ºС, фазы «начало созревания» – 1170,0 ºС. За период изучения по продуктивности выделен сорт Самоплодная (4,70 кг/дерево), который статистически значимо превысил средний показатель по коллекции. По устойчивости плодоношения (Уп) выделены сорта Сахалинская устойчивая (Уп = 0,46) и Августина (Уп = 0,58) со средней устойчивостью плодоношения (0,40–0,75 по методике В. И. Кашина). Анализ крупноплодности показал, что 9 сортообразцов за период изучения отнесены в группу со средним размером плодов (0,6–0,8 г). У изученных сортов содержание косточки в массе плодов в среднем за годы изучения варьировало от 13,7 % (Самоплодная) до 28,4 % (Плотнокистная). По сочетанию длины кисти и количества плодов в ней (в среднем за годы изучения) выделены сорта Самоплодная (13,4 см и 9,6 шт. соответственно) и Мавра (13,7 см и 10,2 шт.). Среди изученных сортообразцов отмечены 4 сорта (36,4 %) с высокими вкусовыми качествами плодов (4,5–5,0 баллов): Плотнокистная, Мавра, Памяти Саламатова (по 4,7 балла), Августина (4,5 балла). По комплексу хозяйственно ценных признаков выделены сорта: Самоплодная, Плотнокистная, Памяти Саламатова, Августина и Мавра, рекомендуемые для любительского садоводства Кировской области.

Ключевые слова: *Prunus padus* L., *Prunus virginiana* L., *продуктивность, средняя масса плода, устойчивость плодоношения, крупноплодность*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE 2025-0004).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Софронов А. П., Фирсова С. В., Русинов А. А. Сортоизучение черемухи в Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):555–563. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.555-563

Поступила: 04.04.2025 Принята к публикации: 10.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Study of bird cherry tree cultivars in the Kirov Region

© 2025. Alexandr P. Sofronov ✉, Svetlana V. Firsova, Anatoly A. Rusinov
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The aim of the research was to study the main phenological phases passing by bird cherry tree samples, to evaluate them according to the complex of economically valuable traits and distinguish the best ones for non-professional horticulture in Kirov region. The objects for the study were 10 cultivars bred by the Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Brunch of the Russian Academy of the RAS and 1 chokecherry form planted in 2016. On average during the years of the research, the vegetation period was 158 days that almost the same as the duration of vegetation period in Kirov (173 days). This indicated the maximum use of thermal resources of the region by the crop. On average for the years of evaluation, the sum of positive temperatures necessary for the beginning of vegetation was 84.2 ºC; for the beginning of phenological phase "floral initiation" – 232.2 ºC; for the beginning of phase "beginning of ripening" – 1170.0 ºC. On average for the period of study, the 'Samoplodnaya' cultivar was distinguished for productivity (4.70 kg/tree), that certainly exceeded an average result in collection. By the stability of fruiting there have been distinguished the 'Sakhalinskaya Ustoychivaya' (fruiting stability = 0.46) and 'Avgustina' (fruiting stability = 0.58) with average fruiting stability (0.40–0.75 according to Kashin). The analysis of large-fruitiness showed that 9 cultivar samples were referred to the group with an average size of a fruit (0.6–0.8 g) over the period of study. The studied forms showed stone content in a fruit on average from 13.7 % ('Samoplodnaya') to 28.4 % ('Plotnokistnaya') over the years of the research. By a combination of raceme length and amount of fruits in it (on average over the years of study) the 'Samoplodnaya' (13.4cm and 9.6 pieces) and 'Mavra' (13.7cm and 10.2 pieces) cultivars were distinguished. Among the studied samples 4 cultivars (36.4 %) with high fruit palatability (4.5–5,0 points) were distinguished: 'Plotnokistnaya' (4.7 points), 'Mavra' (4.7 points), 'Pamyati Salamatova' (4.7 points) and 'Avgustina' (4.5 points). The cultivars 'Samoplodnaya', 'Plotnokistnaya', 'Pamyati Salamatova', 'Avgustina' and 'Mavra' were distinguished by the complex of economically valuable traits and recommended for non-professional horticulture in Kirov region.

Keywords: *Prunus padus* L., *Prunus virginiana* L., *productivity, an average mass of a fruit, fruiting stability, large-fruitiness*

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 (topic No. FNWE-2022-0004).

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

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

For citations: Sofronov A. P., Firsova S. V., Rusinov A. A. Study of bird cherry tree cultivars in the Kirov Region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):555-563. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.555-563

Received: 04.04.2025 Accepted for publication: 10.06.2025 Published online: 30.06.2025

Черемуха обыкновенная (*Prunus padus* L.) и виргинская (*Prunus virginiana* L.) – самые зимостойкие растения из рода слива Prunus L.S.L. Естественный ареал черемухи захватывает практически всю территорию России, кроме зоны тундры и высокогорий [1].

В народном хозяйстве черемуха используется в качестве плодовой и декоративной культуры [2]. Особенно велико значение черемухи как декоративной культуры для регионов с суровым климатом, где она является одним из немногих крупных красивоцветущих деревьев [3].

Плоды черемухи используются в здоровом, сбалансированном питании населения северных и восточных регионов России. В свежих плодах содержится 20–30 % сухих веществ, бóльшую часть которых составляют сахара, значительное количество Р-активных соединений, а также пектинов и пропектинов, мало органических кислот и витамина С. Соцветия, плоды и кора растения находят применение в народной медицине [4, 5].

В Кировской области черемуха встречается в дикорастущем виде, а ее плоды используются местным населением в пищевых целях. Местные формы отличаются резкой периодичностью плодоношения, невысокой урожайностью, мелким размером плодов и их посредственным вкусом. Для любительского садоводства в качестве косточковой плодовой культуры местные формы не подходят. Необходимы сорта и формы со стабильным плодоношением и крупными вкусными плодами. Исследованиями Г. А. Ренгартена, проведенными в Оричевском районе Кировской области, в качестве перспективного выделен сорт Памяти Саламатова [6].

С целью дальнейшего сортоизучения черемухи в 2016 году в экспериментальном саду ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока заложена коллекция перспективных сортов и форм культуры отечественной селекции.

Цель исследований – изучить сроки прохождения основных фенологических фаз сортообразцов черемухи, оценить их по комплексу хозяйственно ценных признаков и выделить лучшие для любительского садоводства Кировской области.

Научная новизна – в агроклиматических условиях Кировской области проведена комплексная оценка 11 сортов черемухи кистевой, черемухи виргинской и их гибридов.

Материал и методы. Исследования проведены в экспериментальном саду ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров) сотрудниками лаборатории плодово-ягодных культур в 2020–2024 гг. Объектами изучения служили 11 сортов и форм 2016 г. посадки: 10 сортов селекции Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (ЦСБС СО РАН) и 1 форма виргинской черемухи (табл. 1).

Посадка осуществлена двухлетними саженцами на площади 0,08 га. Схема посадки – 4х3 м. Агротехнические мероприятия при постановке опыта – общепринятые для Северо-Восточной зоны садоводства европейской части России.

Учеты и наблюдения проводили в соответствии с «Программой и методикой сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур»[1].

Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа, рассчитан коэффициент вариации[2]. Для определения регулярности и стабильности плодоношения проведен расчет коэффициента устойчивости плодоношения по методике В. И. Кашина [7].

Погодные условия за период изучения культуры были достаточно благоприятными. Из негативных факторов стоит отметить суровую зиму 2023/2024 гг. – в декабре температура воздуха в ночное время опускалась до -33 ºС, в январе среднесуточная температура в течение недели была ниже -22 ºС, а также весну 2024 г.

[1]Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел: изд-во Всероссийского НИИ селекции плодовых культур, 1999. 608 с.
[2]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Колос, 1979. 416 с.

с длительным (в течение трех недель) возвратом холодов – во время цветения температура воздуха ночью опускалась до -9 ºС, выпадали обильные осадки в виде снега и дождя (табл. 2).

Таблица 1 – **Изучаемые сортообразцы черемухи /**
Table 1 – **Studied hybrids of bird cherry tree**

Группа по происхождению / Group by origin	*Название образца (сорта) / Cultivar name*	*Учреждение-оригинатор / Institution –Breeder*
I *Padus avium* Mill	Сахалинская устойчивая / 'Sahalinskaya Ustojchivaya'	ЦСБС СО РАН, Новосибирск / Central Siberian Botanical Garden of SB of the RAS, Novosibirsk
	Сахалинская черная / 'Sahalinskaya chernaya'	
	1-17	
II *P. virginiana*	Виргинская / 'Virginskaya'	ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, Киров / FSBSI FARC North-East, Kirov
III *P. virginiana x P. avium*	Августина / 'Avgustina'	ЦСБС СО РАН, Новосибирск / Central Siberian Botanical Garden of SB of the RAS, Novosibirsk
	Памяти Саламатова / 'Pamyati Salamatova'	
	Поздняя радость / 'Pozdnyaya radost''	
IV *P. virginiana x P. avium* (сеянцы сорта Памяти Саламатова) / Plantlets of 'Pamyati Salamatova' cultivar	Плотнокистная / 'Plotnokistnaya'	
	Самоплодная / 'Samoplodnaya'	
	Черный блеск / 'Chernyj blesk'	
	Мавра / 'Mavra'	

Таблица 2 – **Агроклиматические условия по тепло- и влагообеспеченности за вегетационный период черемухи (по данным Кировского центра по гидрометеорологии) /**
Table 2 – **Agroclimatic conditions on thermal and water availability over the growing season of bird cherry tree (according to the Kirov Center for Hydrometeorology)**

Год / Year	*ГТК / Hydrothermal coefficient*	*Сумма активных температур, ℃ / Sum of active temperature, ℃*	*Сумма осадков, мм / Precipitation sum, mm*
2020	2,18	1640	290
2021	1,80	1826	251
2022	2,60	1521	394
2023	1,70	1658	279
2024	1,57	1716	188

Результаты и их обсуждение. Климатические условия Новосибирской области, откуда интродуцированы сорта черемухи, и Кировской области, где проводится изучение, имеют ряд различий. Для климата первой характерна продолжительная холодная и малоснежная зима, без резких перепадов температур, короткое теплое лето[3]. В Кировской области зима холодная и многоснежная с кратковременными оттепелями, а лето умеренно тёплое [8]. Поэтому необходимо было оценить соответствие климатических условий региона фенологическому развитию изучаемых растений.

В условиях региона в среднем за период изучения сорта и формы начинают вегетацию с I декады по начало II декады мая (2–13 мая) (табл. 3). Колебания по годам наблюдений, в зависимости от погодных условий, составляют 11–13 дней. Самое раннее начало вегетации отмечено в 2024 г. (2-3 мая), самое позднее в 2022 г. (13–15 мая). Среди сортов можно выделить ранние: Сахалинская устойчивая, Сахалинская черная и Памяти Саламатова, которые в среднем на 1 день раньше (6 мая) начинают вегетацию, а также сорт Черный блеск, который в среднем по годам вступает в вегетацию на два дня позже (9 мая).

[3]Агроклиматические ресурсы Новосибирской области. Под ред. А. С. Андреевой. Л.: Гидрометиздат, 1971. 155 с.

Таблица 3 – **Даты наступления основных фенологических фаз сортообразцов черемухи в условиях г. Кирова (2020–2024 гг.) /**
Table 3 – **Dates of beginning of the main phenological phases of bird cherry tree samples in conditions of the city Kirov (2020–2024)**

Сорт, форма / Cultivar, form	*Начало вегетации / Vegetation beginning*	*Цветение / Flowering*		*Начало созревания / Beginning of ripening*	*Окончание вегетации / Vegetation end*	*Период вегетации, дни / Vegetation period, days*
		начало / beginning	*окончание / end*			
Сахалинская устойчивая / 'Sahalinskaya Ustojchivaya'	06.05 (02.05–13.05)	27.05 (21.05–03.06)	06.06 (01.10–10.10)	09.08 (29.07–16.08)	10.10 (04.10–21.10)	158
Виргинская / 'Virginskaya'	07.05 (03.05–13.05)	28.05 (21.05–03.06)	07.06 (01.06–10.06)	09.08 (03.08–16.08)	10.10 (04.10–21.10)	157
Поздняя радость / 'Pozdnyaya radost''	07.05 (02.05–13.05)	27.05 (19.05–03.06)	07.06 (01.06–10.06)	09.08 (29.07–15.08)	10.10 (04.10–21.10)	158
Сахалинская черная / 'Sahalinskaya chernaya'	06.05 (02.05–12.05)	27.05 (21.05–03.06)	07.06 (01.06–10.06)	09.08 (27.08–16.08)	10.10 (04.10–21.10)	158
Плотнокистная / 'Plotnokistnaya'	08.05 (04.05–13.05)	28.05 (21.05–03.06)	07.06 (01.06–10.06)	09.08 (25.07–16.08)	10.10 (04.10–21.10)	157
Памяти Саламатова / 'Pamyati Salamatova'	06.05 (02.05–13.05)	26.05 (19.05–02.06)	07.06 (01.06–10.06)	9.08 (29.07–16.08)	10.10 (04.10–21.10)	159
Августина / 'Avgustina'	07.05 (03.05–13.05)	27.05 (21.05–03.06)	07.06 (01.06–10.06)	07.08 (29.07–16.08)	10.10 (04.10–21.10)	158
Самоплодная / 'Samoplodnaya'	07.05 (03.05–13.05)	27.05 (21.05–03.06)	07.06 (01.06–10.06)	09.08 (29.07–16.08)	10.10 (04.10–21.10)	158
1-17	07.05 (02.05–13.05)	26.05 (21.05–03.06)	07.06 (01.06–10.06)	06.08 (29.07–16.08)	10.10 (04.10–21.10)	158
Мавра / 'Mavra'	07.05 (02.05–13.05)	27.05 (19.05–03.06)	07.06 (01.05–10.06)	08.08 (29.07–16.08)	10.10 (04.10–21.10)	158
Черный блеск / 'Chernyj blesk'	09.05 (06.05–15.05)	29.05 (21.05–03.06)	07.06 (01.06–11.06)	09.08 (29.07–16.08)	10.10 (03.10–16.10)	157
Среднее / Average	07.05 (02.05–13.05)	27.05 (18.05–03.06)	07.06 (01.06–10.06)	08.08 (29.07–16.08)	10.10 (04.10–18.10)	158

Цветение черемухи в среднем за годы изучения приходится на конец III декады мая (25–27 мая). Самый ранний срок начала цветения отмечен в 2023 г. (18-19 мая), самый поздний – в 2022 г. (3 июня). Межфазный период от начала вегетации до начала цветения в среднем составляет 20 дней, а продолжительность периода цветения – 10–14 дней. Среди сортов наиболее раннее начало цветения отмечено у образцов Памяти Саламатова и 1-17 (26 мая), самое позднее – у сорта Черный блеск (29 мая).

Средняя дата начала созревания черемухи в условиях г. Кирова – 7–10 августа. Самый ранний срок начала созревания за период изучения отмечен в 2021 г. (27 июля), а самый поздний – в 2020 году (8 августа). Длина межфазного периода от начала цветения до начала созревания в зависимости от сорта и условий периода вегетации составляет 63–74 дня. Наиболее раннеспелыми по началу созревания плодов отмечены сортообразцы 1-17 (6 августа) и Августина (7 августа), что на 1-2 дня раньше средних сроков по коллекции.

Окончание вегетации черемухи в условиях г. Кирова в среднем за годы изучения приходится на 10 октября. Вегетативный период черемухи в среднем за годы изучения составил 158 дней, что практически совпадает с продолжительностью вегетационного периода в г. Кирове (173 дня), это позволяет сделать вывод о максимальном использовании культурой тепловых ресурсов региона.

Согласно данным календаря сезонных явлений природы[4], в г. Кирове средние многолетние даты наступления основных фенологических фаз черемухи следующие: начало вегетации – 8 мая; начало цветения – 22 мая; начало созревания – 21 июля; окончание вегетации – 3 октября. То есть, интродуцированные сорта начинают вегетацию примерно в одно время с местными формами, но отличаются более продолжительными межфазными периодами, так разница в средних сроках созревания превышает две недели.

[4]Агроклиматические ресурсы Кировской области. Л.: Гидрометиздат, 1974. 112 с.

В условиях г. Кирова вегетация черемухи начинается при среднесуточной температуре +5 ºС. В среднем за годы оценки сумма положительных температур, необходимая для начала вегетации, составила 84,2 ºС, минимальное количество тепла требуется сортам Сахалинская устойчивая, Сахалинская черная и Памяти Саламатова (77,7; 75,9; 75,6 ºС соответственно), максимальное – Плотнокистная и Черный блеск (97,2 и 97,2 ºС) (табл. 4).

Таблица 4 – **Сумма эффективных температур, необходимая для наступления основных фаз вегетации сортообразцов черемухи, ºС (в среднем за 2020–2024 гг.) /**
Table 4 – **The sum of effective temperatures necessary for the beginning of the main vegetation phases of bird cherry tree samples, ºС (on average over 2020–2024)**

Сорт, форма / Cultivar, Form	*Начало вегетации / Vegetation beginning*	*Начало цветения / Floral initiation*	*Начало созревания / Beginning of ripening*
Сахалинская устойчивая / ‘Sahalinskaya ustojchivaya’	77,7±34,19	232,3±44,81	1173,1±8,75
Виргинская / ‘Virginskaya’	83,6±24,67	238,5±49,80	1189,7±41,21
Поздняя радость / ‘Pozdnyaya radost'’	83,6±24,57	235,0±49,97	1171,8±17,78
Сахалинская черная / ‘Sahalinskaya chernaya’	75,9±33,50	241,3±57,42	1171,1±9,70
Плотнокистная / ‘Plotnokistnaya’	97,2±9,41	239,4±52,66	1174,0±17,59
Памяти Саламатова / ‘Pamyati Salamatova’	75,6±33,72	219,2±51,11	1165,6±23,91
Августина / ‘Avgustina’	83,4±31,39	231,8±49,06	1169±16,94
Самоплодная / ‘Samoplodnaya’	86,4±25,63	235,5±55,17	1154,6±45,09
1-17	83,4±31,39	226,1±55,59	1151,5±38,16
Мавра / ‘Mavra’	80,6±28,80	232,0±47,13	1174,0±17,56
Черный блеск / ‘Chernyj blesk’	99,1±9,70	234,7±55,26	1181,5±,74
Среднее / Average	84,2±7,80	232,3±,30	1170,0±10,70

Сумма эффективных температур, необходимая для наступления фенологической фазы «начало цветения», в среднем за годы изучения составила 232,2 ºС. Минимальное количество тепла требуется сорту Памяти Саламатова (219,2 ºС) и форме 1-17 (226,1 ºС), максимальное – Сахалинская черная (241,3 ºС).

Для наступления фазы «начало созревания» для сортов и форм черемухи в среднем требуется 1170,0 ºС. Минимальное количество тепла для созревания плодов требуется образцам 1-17 (1151,5 ºС) и Самоплодная (1154,6 ºС), максимальное – Черный блеск (1181,5 ºС) и Виргинская (1189,7 ºС). Накопление тепла для начала созревания – достаточно стабильный признак, коэффициент вариации по годам в среднем по выборке составил 1,89 %.

За период изучения 11 сортов и форм черемухи в условиях Кировской области в коллекции не было отмечено признаков подмерзания, что подтверждает характеристику черемухи как самой зимостойкой косточковой культуры [9].

Ценность новых сортов черемухи во многом определяется их продуктивностью, которую оценивали с 4-го по 9-й год после посадки в период полного плодоношения. Продуктивность изученных образцов по годам варьировала от 0,3 кг/дерево у сорта Сахалинская черная в 2021 г. до 13,4 кг/дерево у сорта Самоплодная в 2023 г., однако все сорта отнесены в группу малоурожайных (урожайность менее 66 ц/га).

За период изучения по продуктивности выделен сорт Самоплодная (4,70 кг/дерево), который достоверно превзошел средний показатель по коллекции (табл. 5).

Оценка устойчивости плодоношения позволила выделить сорта Сахалинская устойчивая (Уп = 0,46) и Августина (Уп = 0,58) со средней устойчивостью плодоношения (Уп = 0,40–0,75).

Таблица 5 – **Продуктивность сортообразцов черемухи (2020–2024 гг.) /**
Table 5 – **Productivity of bird cherry tree samples (2020–2024)**

Сорт, форма / Cultivar, Form	*Продуктивность, кг/дерево / Productivity, kg/tree*		*Устойчивость плодоношения / Fruiting stability*
	среднее / average	*min…max*	
Самоплодная / ‘Samoplodnaya’	4,70	0,30…13,40	0,14
Поздняя радость / ‘Pozdnyaya radost'’	2,14	0,30…5,30	0,30
Мавра / ‘Mavra’	1,75	0,20…5,85	0,14
Августина / ‘Avgustina’	1,70	0,85…3,85	0,58
Памяти Саламатова / ‘Pamyati Salamatova’	1,60	0,03…6,15	0,27
Плотнокистная / ‘Plotnokistnaya’	1,20	0,30…2,35	0,33
Сахалинская устойчивая / ‘Sahalinskaya ustojchivaya’	1,10	0,15…2,45	0,46
Виргинская / ‘Virginskaya’	0,80	0,30…1,85	0,21
Сахалинская черная / ‘Sahalinskaya chernaya’	0,60	0,10…2,45	0,08
1-17	0,40	0,10…0,85	0,35
Черный блеск / ‘Chernyj blesk’	0,30	0,10…0,85	0,30
Среднее / Average	1,37	-	-
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	2,36	-	-

Анализ крупноплодности показал, что большинство сортообразцов (9 шт.) за период изучения отнесены в группу со средним размером плодов (0,6–0,8 г): Виргинская (0,74 г), Черный блеск (0,72 г), Сахалинская устойчивая (0,71 г), Памяти Саламатова (0,71 г) и другие. У двух сортов (Поздняя радость и Самоплодная) отмечен мелкий размер плодов – менее 0,6 г (табл. 6).

Изучение вариабельности крупноплодности показало, что это достаточно стабильный признак, в среднем по коллекции коэффициент вариации был меньше 10 %. Только у четырех сортов отмечена средняя изменчивость средней массы плода по годам: Виргинская (10,55 %); Плотнокистная (10,61 %); Мавра (14,43 %); Поздняя радость (11,02 %).

Таблица 6 – **Характеристика сортообразцов черемухи по крупноплодности (в среднем за 2020–2024 гг.) /**
Table 6 – **Characteristics of bird cherry tree samples according to large-fruitiness (2020–2024)**

Сорт, форма / Cultivar, Form	*Средняя масса 1 плода, г / An average mass of a fruit, g*	*CV, %*
Виргинская / ‘Virginskaya’	0,74±0,08	10,55
Черный блеск / ‘Chernyj blesk’	0,72±0,04	5,86
Сахалинская устойчивая / ‘Sahalinskaya ustojchivaya’	0,71±0,02	2,73
Памяти Саламатова / ‘Pamyati Salamatova’	0,71±0,05	6,77
Плотнокистная / ‘Plotnokistnaya’	0,69±0,07	10,61
Сахалинская черная / ‘Sahalinskaya chernaya’	0,68±0,05	6,94
Августина / ‘Avgustina’	0,65±0,05	8,21
Мавра / ‘Mavra’	0,62±0,09	14,43
1-17	0,60±0,02	3,60
Самоплодная / ‘Samoplodnaya’	0,58±0,05	8,66
Поздняя радость / ‘Pozdnyaya radost'’	0,56±0,06	11,02
Среднее / Average	0,66	8,12

Так как плоды черемухи традиционно перерабатываются вместе с косточкой [2], наиболее предпочтительны сорта с минимальным содержанием косточки в массе плода. У изученных сортов содержание косточки в массе плодов в среднем за годы изучения варьировало от 13,7 % (Самоплодная) до 28,4 % (Плотнокистная), при среднем уровне признака по коллекции 20,91 %. Стоит отметить сорта Мавра и Самоплодная (содержание косточки 13,98 и 13,70 % соответственно) с минимальной массой косточки 0,08 г.

Важной характеристикой для черемухи является длина кисти, так как длиннокистные формы наиболее декоративны во время цветения и отличаются повышенной потенциальной урожайностью [10]. Максимальная длина кисти в коллекции отмечена у сортов Плотнокистная (16,6 см) и Памяти Саламатова (16,1 см), для Августина характерна короткая кисть – 8,3 см (табл. 7).

Таблица 7 – **Характеристика сортообразцов черемухи по комплексу хозяйственно ценных признаков (в среднем за 2020–2024 гг.) /**
Table 7 – **Characteristics of bird cherry tree samples according to the complex of economically valuable traits (on average over 2020–2024)**

Сорт, форма / Cultivar, Form	*Длина кисти, см / Raceme length, cm*	*Кол-во плодов в кисти, шт. / Amount of fruits in raceme, pieces*	*Косточка / Stone*	
			масса, г / mass, g	*%*
Плотнокистная / ‘Plotnokistnaya’	16,6±4,6	6,2±2,5	0,14±0,04	28,40
Памяти Саламатова / ‘Pamyati Salamatova’	16,1±2,8	6,6±2,5	0,16±0,05	22,90
Мавра / ‘Mavra’	13,7±2,8	10,2±3,6	0,08±0,02	13,98
Поздняя радость / ‘Pozdnyaya radost'’	13,5±1,5	8,8±1,5	0,09±0,01	15,30
Самоплодная / ‘Samoplodnaya’	13,4±2,5	9,6±2,3	0,08±0,02	13,70
1-17	13,3±2,1	4,3±1,2	0,13±0,02	21,20
Виргинская / ‘Virginskaya’	12,5±1,0	7,2±3,0	0,17±0,04	23,00
Сахалинская черная / ‘Sahalinskaya chernaya’	12,5±2,2	5,3±1,5	0,16±0,01	24,00
Сахалинская устойчивая / ‘Sahalinskaya ustojchivaya’	11,6±1,4	7,8±2,5	0,19±0,01	27,01
Черный блеск / ‘Chernyj blesk’	11,4±2,0	6,0±2,3	0,15±0,01	20,95
Августина / ‘Avgustina’	8,3±1,8	6,0±1,4	0,13±0,01	19,60
В среднем / An Average	12,9	6,7	0,13	20,91
$НСР_{0,5}$ / LSD_{05}	-	-	0,08	-

По сочетанию длины кисти и количества плодов в ней (в среднем за годы изучения) выделены сорта Самоплодная (13,4 см и 9,6 шт. соответственно) и Мавра (13,7 см и 10,2 шт.).

Основным показателем качества сортов черемухи является вкус плодов, наиболее предпочтителен десертный, без горечи и терпкости. Согласно данным В. С. Симагина и А. В. Локтевой [11], вкус плодов черемухи определяется, в первую очередь, количеством и соотношением трех групп веществ: сахаров, кислот и терпких (дубильных) соединений, поэтому определенная терпкость в плодах черемухи всегда присутствует в той или иной степени.

Среди изученных сортообразцов выделено 4 сорта (36,4 %) с высокими вкусовыми качествами плодов (4,5–5,0 баллов): Плотнокистная (4,7 балла); Мавра (4,7 балла); Памяти Саламатова (4,7 балла); Августина (4,5 балла). Для остальных 7 сортов характерен хороший вкус плодов (4 балла). Сортов с удовлетворительным (3 балла) и плохим (2 балла) вкусом, наиболее распространенном в естественных популяциях черемухи в Кировской области, не выявлено.

За период изучения у сортов и форм не отмечено интенсивного развития болезней и поражения вредителями, в отдельные годы наблюдалось слабое (до 2 баллов) повреждение тлей.

Заключение. Таким образом, у интродуцированных сортов черемухи начало вегетации наблюдается в среднем 7 мая (в период с 6 по

9 мая в зависимости от сорта), начало цветения – 27 мая (с 26 по 29 мая), начало созревания – 8 августа (с 6 по 10 августа), окончание вегетации – 10 октября. Продолжительность периода вегетации у изучаемых сортов и форм черемухи совпадает с длительностью вегетационного периода в Кировской области. Черемуха не очень требовательна к накоплению тепла для наступления основных фаз вегетации. Сумма среднесуточных положительных температур, необходимая для начала вегетации, составляет 84,2 ºС, для начала цветения – 232,3 ºС, созревания – 1170 ºС.

По комплексу хозяйственно ценных признаков выделены сорта черемухи: Самоплодная, Плотнокистная, Памяти Саламатова, Августина и Мавра, рекомендуемые для любительского садоводства Кировской области.

Список литературы

1. Nestby R. D. J. The Status of *Prunus padus* L. (Bird Cherry) in Forest Communities throughout Europe and Asia. Forests. 2020;11(5):497. DOI: https://doi.org/10.3390/f11050497

2. Симагин В. С., Локтева А. В. Создание крупноплодных сортов черемухи на основе дикорастущих видов для северных и восточных регионов России. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):123–130. DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-123-130 EDN: XHDYFO

3. Симагин В. С., Локтева А. В. Основные декоративные качества черемух и их генетические источники. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012;(9):61–65.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=pckbbp EDN: PCKBBP

4. Локтева А. В., Кукушкина Т. А. Характеристика качества и химического состава плодов сортов и новых гибридов черемухи. Химия растительного сырья. 2023;(2):205–213.
DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.20230211354 EDN: ZWAVSB

5. Telichowska A., Kobus-Cisowska J., Szulc P. Phytopharmacological Possibilities of Bird Cherry (*Prunus padus* L. and *Prunus serotina* L.) Species and Their Bioactive Phytochemicals. Nutrients. 2020;12(7):1966. https://doi.org/10.3390/nu12071966

6. Ренгартен Г. А. Интродукция рябины красноплодной и черёмухи на Северо-Востоке России. Субтропическое и декоративное садоводство. 2022;(81):44–54. DOI: https://doi.org/10.31360/2225-3068-2022-81-44-53 EDN: LBHFUA

7. Кашин В. И. Научные основы повышения адаптивности садоводства. Вестник РАСХН. 1994;(5):25–30.

8. Переведенцев Ю. П., Шаймарданов М. З., Френкель М. О. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области. Казань: Казанский ГУ, 2010. 241 с.
Режим доступа: https://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/21868/781793.pdf

9. Симагин В. С. Черемуха. Помология. Том III. Косточковые культуры. Под ред. Е. Н. Седова. Орел: ВНИИСПК, 2008. С. 473–486.

10. Локтева А. В., Симагин В. С. Наследование декоративных признаков черемухи в семьях с участием сорта ‘Нежность’. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(4):163–171.
DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-163-171 EDN: ZTGTTP

11. Симагин В. С., Локтева А. В. Морфологическая изменчивость цветков и плодов черемухи кистевой в Правобережной лесостепи Приобья. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2010;(6):42–49. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=msltvx EDN: MSLTVX

References

1. Nestby R. D. J. The Status of *Prunus padus* L. (Bird Cherry) in Forest Communities throughout Europe and Asia. Forests. 2020;11(5):497. DOI: https://doi.org/10.3390/f11050497

2. Simagin V. S., Lokteva A. V. Development of large-fruited bird cherry cultivars on the basis of wild species for northern and eastern regions of Russia. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2021;182(1):123–130. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-123-130

3. Simagin V. S., Lokteva A. V. Osnovnye dekorativnye kachestva cheremukh i ikh geneticheckie istochniki. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2012;(9):61–65. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=pckbbp

4. Lokteva A. V., Kukushkina T. A. Qualitative characteristics and chemical composition of fruits of varieties and new hybrids of wild cherry. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2023;(2):205–213. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.20230211354

5. Telichowska A., Kobus-Cisowska J., Szulc P. Phytopharmacological Possibilities of Bird Cherry (*Prunus padus* L. and *Prunus serotina* L.) Species and Their Bioactive Phytochemicals. Nutrients. 2020;12(7):1966. https://doi.org/10.3390/nu12071966

6. Rengarten G. A. Introduction of rowan and bird cherry in the north-east of Russia. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo* = Subtropical and ornamental horticulture. 2022;(81):44–54. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31360/2225-3068-2022-81-44-53

7. Kashin V. I. Scientific foundations of improving the adaptability of horticulture. *Vestnik RASKhN*. 1994;(5):25–30. (In Russ.).

8. Perevedentsev Yu. P., Shaymardanov M. Z., Frenkel' M. O. Modern changes in the climatic conditions and resources of the Kirov region. Kazan': *Kazanskiy GU*, 2010. 241 p. URL: https://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/21868/781793.pdf

9. Simagin V. S. Bird cherry. Pomology. Vol. III. Stone-stone crops. *Pod red. E. N. Sedova*. Orel: *VNIISPK,* 2008. pp. 473–486.

10. Lokteva A. V., Simagin V. S. Inheritance of ornamental traits in bird cherry families with the cultivar 'Nezhnost' in their pedigree. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022;183(4):163–171. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-163-171

11. Simagin V. S., Lokteva A. V. Morphological variation in flowers and fruits of European bird cherry in right-bank forest-steppe areas near the river Ob. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2010;(6):42–49. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=msltvx

Сведения об авторах

✉ **Софронов Александр Петрович**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9507-8622, e-mail: plod-niish@yandex.ru

Фирсова Светлана Витальевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4954-4343**

Русинов Анатолий Аркадьевич, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7780-9543**

Information about the authors

✉ **Alexandr P. Sofronov,** PhD in Agricultural Science, senior researcher, Head of the Laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9507-8622**, e-mail: plod-niish@yandex.ru

Svetlana V. Firsova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4954-4343**

Anatoly A. Rusinov, researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7780-9543

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.564–576
УДК 632.4.01/.08

(cc) BY

Оптимизация методов оценки озимой ржи на устойчивость к снежной плесени в условиях естественных и искусственных инфекционных фонов

© 2025. М. Л. Пономарева✉, С. Н. Пономарев, Г. С. Маннапова, С. Ю. Павлова, И. О. Иванова

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, Российская Федерация

Снежная плесень – экономически значимое и прогрессирующее заболевание озимой ржи, вызываемое различными видами низкотемпературных грибов (аскомицетами и базидиомицетами) и грибоподобными организмами (оомицетами), потери урожая от которого могут достигать 30–50 %. Цель данной работы – совершенствование методов полевой оценки устойчивости озимой ржи к снежной плесени как при искусственном заражении, так и в естественных условиях. Исследования проводили в 2019–2024 годах в условиях Республики Татарстан. С 2021 года для искусственного заражения использовали наиболее агрессивные штаммы возбудителей розовой (Microdochium nivale), серой (Typhula incarnata) и крапчатой (T. ishikariensis) снежной плесени, собранные в Приволжском федеральном округе. В эксперимент включено 60 образцов озимой ржи, в том числе сорта селекции ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН. Для более точной оценки степени поражения и выявления устойчивых генотипов разработана детализированная 9-балльная шкала, где 1 балл означает отсутствие поражения, 9 – полное поражение. В естественных условиях средний балл поражения варьировал от 2,41 до 5,15, а при искусственном заражении был значительно выше – от 4,48 до 8,40. В течение четырех из пяти лет наблюдений большинство сортов озимой ржи показали умеренный или умеренно-восприимчивый тип реакции на естественном фоне. Частота образцов с восприимчивой реакцией на искусственном инфекционном фоне в 2024 году достигла 96 %. Использование искусственных инфекционных фонов позволяет проводить оценку поражения снежной плесенью независимо от погодных условий и ускоряет селекционный процесс, обеспечивая объективную оценку устойчивости генотипов. В результате исследований оптимизирована методика создания автономных инфекционных фонов. Она включает выбор участка с продолжительным периодом таяния снега и ровным рельефом, использование инокулята, содержащего вирулентные штаммы патогенов, характерные для данного региона, и специальный метод внесения инфекционного агента.

Ключевые слова: *возбудители снежной плесени, восприимчивость, естественный фон, создание искусственного инфекционного фона, шкала учета поражения растений*

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда № 24-16-00183, https://rscf.ru/project/24-16-00183/

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликтов интересов.

Для цитирования: Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С., Павлова С. Ю., Иванова И. О. Оптимизация методов оценки озимой ржи на устойчивость к снежной плесени в условиях естественных и искусственных инфекционных фонов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):564-576. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.564-576

Поступила: 14.04.2025 Принята к публикации: 06.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Optimization of methods for assessing the resistance of winter rye to snow mold in natural and artificial infection backgrounds

© 2025. Mira L. Ponomareva✉, Sergey N. Ponomarev, Gulnaz S. Mannapova, Svetlana Yu. Pavlova, Irina O. Ivanova

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Kazan, Tatarstan, Russian Federation

Snow mold is an economically important and progressive disease of winter rye caused by several species of low temperature fungi (ascomycetes and basidiomycetes) and fungal-like organisms (oomycetes), with yield losses of up to 30–50 %. The aim of this work is to improve methods for field evaluation of winter rye resistance to snow mold, both under artificial infestation and natural conditions. The research was carried out in 2019–2024 in the Republic of Tatarstan. Since 2021, the most aggressive strains of pink (Microdochium nivale), grey (Typhula incarnata) and speckled (T. ishikariensis) snow mold pathogens collected

in the Volga Federal District have been used for artificial infection. The experiment involved 60 winter rye samples, including cultivars bred by Tatar Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center of RAS. For a more accurate assessment of the degree of damage and identification of resistant genotypes, a detailed 9-point scale was developed, with 1 − no damage and 9 − complete damage. Under natural conditions, the average damage point ranged from 2.41 to 5.15, while under artificial infestation it was significantly higher, from 4.48 to 8.40. Most winter rye cultivars showed a moderate to moderately susceptible type of reaction on a natural background in four out of 5 years of observation. The frequency of susceptible samples on the artificial infection background reached 96 % in 2024. The use of artificial infection backgrounds allows snow mold damage to be assessed independently of weather conditions and speeds up the breeding process, providing an objective assessment of genotype resistance. As a result of research, the methodology for establishing autonomous infection backgrounds has been optimized. It involves the selection of a site with a long snowmelt period and flat relief, the use of inoculum containing virulent strains of pathogens characteristic of the region and a special method of introducing the pathogen.

Keywords: *snow mold pathogens, susceptibility, natural background, creation of artificial infectious background, plant damage accounting scale*

Acknowledgements: the research was supported by the Russian Science Foundation No. 24-16-00183, https://rscf.ru/project/24-16-00183/

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

Conflict of interest*:* authors declared no conflicts of interest.

For citation: Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S., Pavlova S. Yu., Ivanova I. O. Optimization of methods for assessing the resistance of winter rye to snow mold in natural and artificial infection backgrounds. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):564–576. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.564-576

Received: 14.04.2025 Accepted for publication: 06.06.2025 Published online: 30.06.2025

Озимая рожь в Российской Федерации является не просто второй по значимости хлебной культурой, но и социально важным и здоровым продуктом питания для населения. Ценность ржи для растениеводства России определяется не только ее пищевой и сырьевой ценностью, но и агротехническими, экономическими и экологическими преимуществами, которые она обеспечивает в большинстве регионов страны, особенно на территориях со сложными почвенно-климатическими условиями. Ядро возделывания культуры – Приволжский федеральный округ, где в 2024 г. высевалось 72,6 % всех посевных площадей ржи в России (589,8 тыс. га). По данным АБ-Центр[1], лидером по сбору ржи в РФ в 2024 г. является Республика Татарстан – 144,3 тыс. тонн, или 12,4 % от общего объема по стране.

В числе основных лимитирующих факторов получения высоких урожаев качественной продукции озимой ржи остаются болезни растений. Рожь считается культурой более выносливой к грибным заболеваниям, чем пшеница или ячмень, при этом некоторые патогены могут значительно снизить ее урожайность. Одной их таких экономически значимых, распространенных и вредоносных болезней является снежная плесень, ущерб от которой в зависимости от устойчивости сорта и складывающихся погодных условий может достигать 30–50 % [1].

На основании многочисленных исследований в настоящее время установлено, что снежную плесень зерновых культур вызывает комплекс низкотемпературных фитопатогенов, относящихся к разным таксонам [2], таких как *Microdochium nivale* (ранее именуемый *Fusarium nivale*) и *M. majus*, *Typhula incarnata u T. Ishicariensis*, *Sclerotinia* sp. [1]. Всех их объединяет способность расти при низких температурах (психрофильность и психротолерантность). Имеются сведения и о других возбудителях, симптомы которых схожи с вышеперечисленными видами – *Pythium* sp. [3], *Phoma sclerotioides* [4, 5], *Coprinus psychromorbidus* [6] и другие. Поэтому считается, что термин «снежная плесень» – это собирательное название заболеваний, вызываемых грибами (аскомицетами и базидиомицетами) и грибоподобными организмами (оомицетами). Возбудители снежной плесени благодаря своей экстремофильности способны расти под снежным покровом или в прохладную погоду при температуре 0–5 °С и высокой влажности воздуха [7].

Чаще всего доминирующим видом является *Microdochium nivale,* особенность которого – неспособность продуцировать микотоксины [8]. Для него характерно ежегодное распространение во всех регионах возделывания озимых зерновых культур, а вредоносность варьирует от низкой до высокой в зависимости от складывающихся агрометеорологических условий [9]. Оптимальный рост *M. nivale* происходит при умеренных температурах холодного сезона и в период оттепелей. В отличие от других

[1]АБ-Центр –экспертно-аналитический центр агробизнеса. [Электронный ресурс]. URL: https://ab-centre.ru/news/rozh-ploschadi-sbory-i-urozhaynost-v-2024-godu (дата обращения 10.01.2025)

возбудителей снежной плесени этот патоген может вызывать заболевание, даже при отсутствии снежного покрова. Он проявляет активность в более широком диапазоне температур и встречается в самых разных эколого-географических зонах [10].

Возбудители серой и крапчатой снежной плесени (*T. ishikariensis*, *T. incarnata*) до настоящего времени остаются недостаточно изученными. Максимальная активность этих патогенов наблюдается в период начала таяния снега, когда верхний слой почвы насыщен влагой. Сведений о частоте встречаемости видов *Typhula* spp. в патогенезе снежной плесени нет, практически все исследования, посвященные тифулам, сосредоточены на их экологических характеристиках и таксономии. Работы, направленные на оценку устойчивости различных сортов озимой ржи к этим патогенам, отсутствуют. В связи с этим проблема требует серьезного внимания, особенно учитывая, что ведущие специалисты Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР) включили данные заболевания в число экономически значимых болезней пшеницы, широко распространенных как в России, так и за рубежом [9].

Вредоносность снежной плесени, помимо снижения урожайности, проявляется в невыполненности колоса и щуплости зерна, а при интенсивном поражении – в изреженности и гибели посевов. Наиболее эффективную защиту обеспечивают устойчивые к снежной плесени сорта, однако выявление и передача генов устойчивости к заболеванию новым сортам затруднена, поскольку устойчивость имеет полигенную природу [1], а развитие снежной плесени в значительной степени зависит от условий окружающей среды и требует нескольких лет полевых испытаний.

По мнению Э. П. Урбан с соавт. (2022) [11], до сих пор не удалось создать сорта ржи с высокой устойчивостью к снежной плесени, однако выявлены сорта с низкими показателями степени поражения и гибели растений. Имеются примеры получения толерантных сортов путем многократного индивидуального отбора на искусственном инфекционном фоне *M. nivale*: Снежана (2004 г.); Рушник (2008 г.); Графиня (2012 г.) [12]. Проблема устойчивости растений к снежной плесени требует приоритетного решения при создании гибридной ржи, т. к. инбредные линии и гибриды поражаются этой болезнью сильнее, чем популяционные сорта [13].

Цель работы – усовершенствовать полевые методы оценки восприимчивости селекционного материала озимой ржи к снежной плесени на искусственных и естественных инфекционных фонах.

Научная новизна – в селекционной практике использованы автономные инфекционные питомники с искусственным внесением специально подобранных изолятов основных возбудителей снежной плесени (*Microdochium nivale*, *Typhula ishikariensis, Typhula incarnata)* для синхронной фенотипической оценки селекционного материала на устойчивость к заболеванию, предложена оптимизированная шкала оценки степени поражения растений.

Материал и методы. Для выявления наиболее патогенных и дифференцирующих штаммов грибов-возбудителей снежной плесени в 2020–2022 гг. были собраны образцы пораженных растений с экспериментальных полей ФИЦ КазНЦ РАН, районов Республики Татарстан и сопредельных регионов, входящих в Приволжский федеральный округ. Вирулентные изоляты сохраняются в коллекции фитопатогенных грибов лаборатории инфекционных заболеваний растений ФИЦ КазНЦ РАН.

Фенотипическую оценку коллекционного и селекционного материала озимой ржи проводили на экспериментальных полях ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН (Лаишевский р-н, Республика Татарстан) в течение 5 лет как на естественном фоне, так и при искусственном заражении одним из возбудителей. Начиная с 2021 г., для тестирования образцов озимой ржи на устойчивость к снежной плесени для искусственного инфицирования использовали возбудителей розовой снежной плесени (*M. nivale,* изоляты 559, 556, 516, 550, 244, 520, 221, 493), серой снежной плесени (*T. incarnata,* изоляты 180, 337) и крапчатой снежной плесени (*T. ishikariensis,* изоляты 206, 637, 758). Для поддержания инфекционных фонов каждый год на отдельный участок вносили смесь мицелия перечисленных изолятов каждого из возбудителей, создавая автономный инфекционный фон. Грибы, вызывающие снежную плесень, выращивали в стерильных условиях на среде КСА (картофельно-сахарозный агар) и КСС (картофельно-сахарозная среда). Затем с края колоний пробочным сверлом делали вырубки диаметром 8 мм и вносили по 5 вырубок соответствующего изолята в стеклянные трехлитровые колбы, наполовину заполненные стерильным дробленым зерном ячменя. Агрессивные изоляты *M. nivale*, отобранные для полевого эксперимента, куль-

тивировали в течение 16 дней при температуре 20 °С и 16-часовом световом режиме при регулярном перемешивании субстрата. Изоляты *T. incarnata* и *T. ishikariensis* также выращивали на автоклавированном дробленом зерне ярового ячменя в течение 6 недель при 5 °С в темноте. Дробленое зерно получали на зерносортировальных машинах при сходе с решета В (подсевное). К моменту внесения колбы полностью зарастали грибами, а их содержимое представляло собой плотную массу с высокой концентрацией гриба. Непосредственно перед внесением в почву инфицированное зерно, содержащее мицелий различных изолятов одного и того же патогена, тщательно перемешивали. Полученную смесь вносили в стерильный, автоклавированный зерновой субстрат ячменя в соотношении 1:3 (установлено экспериментально). Этот прием позволял увеличить объем и однородность инфекционного материала, необходимого для оценки значительного числа тестируемых образцов, а также снизить инфекционную нагрузку ввиду высокой агрессивности используемых изолятов. Подготовленный инокулюм вручную равномерно распределяли по экспериментальному участку (между рядами возле растений из расчета 200 г на 1 кв. м.) после того, как растения достигли стадии трех настоящих листьев (фаза 13 по шкале Цадокса). Для предотвращения перекрестной контаминации штаммами возбудителей разные инфекционные питомники друг от друга отстояли на 4 м и засевались озимым рыжиком.

В исследование было включено 60 сортообразцов озимой ржи, включая сорта селекции ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН, 66 % изученного материала представлены образцами российского происхождения, остальная часть – образцы из 12 стран (Беларусь, Польша, Латвия, Германия, Испания, Аргентина, Китай, США, Канада, Украина, Финляндия).

Инфекционный участок, где размещались автономные инфекционные питомники, располагался вне селекционного севооборота и был с трех сторон защищен лесополосами, что способствовало естественному снегозадержанию и провокации проявления снежной плесени. Предшественник – чистый пар. Изучаемые образцы на инфекционных фонах высевали сеялкой ССФК в двукратной повторности на делянках площадью 2,0 м^2, расстояние между рядками – 15 см. Участок предварительно был выровнен по инфекционному фону уравнительным посевом сидеральной культуры – озимого рыжика.

После снеготаяния визуально оценивали пораженность растений по состоянию и проценту выживших растений по 9-балльной шкале, описанной ниже (первая оценка). Через 2 недели по той же шкале учета проводили бонитировку регенерации растений после пика развития болезни (вторая оценка).

На основании полученных результатов первой оценки тестируемые образцы классифицировали на 4 категории: устойчивые (R) – поражение составляло 1,0–2,9 балла; умеренно устойчивые (MR) – 3,0–4,9 балла; умеренно восприимчивые (MS) – 5,0–6,9 балла; восприимчивые (S) – 7,0–9,0 баллов.

Для расчета статистических характеристик и визуализации полученных данных использовали пакеты программ Microsoft Office Excel 2007 и XLSTAT 2019.2.2.59614. Оценки пораженности снежной плесенью каждого образца усредняли по двум полевым повторностям. Статистическая значимость признака – *при $p \leq 0.05$; ** при $p \leq 0.01$; *** при $p \leq 0.001$.

Результаты и их обсуждение. В последние годы уровень естественного развития снежной плесени в центральной полосе России регулярно превышает эпифитотийный порог, равный 20 %, что связано с мягкими зимами и положительными температурными аномалиями; при этом вызывающие это заболевание грибы адаптируются к более теплому климату не только этих территорий, но и юга России [14], Западной и Восточной Европы.

В зоне наших исследований в 2020-2021 гг. наблюдалось минимальное количество оттепелей и более низкая температура в сравнении со среднемноголетними показателями (-9,4 °С и -7,5 °С) при снежном покрове 78 см (табл. 1). В 2023-2024 гг. отмечена рекордная высота снежного покрова (95 см) и большое количество осадков (310 мм) при слабом промерзании почвы.

Средние показатели поражения растений в естественных условиях варьировали от 2,41±1,04 до 5,15±1,08 балла, тогда как на искусственном фоне (ИФ) они неизменно были выше – от 4,48±1,70 до 8,40±0,72 (рис. 1). Результаты фенотипической оценки сортов озимой ржи показали, что только в 2020 г. на естественном фоне (ЕФ) сорта имели относительно низкий балл поражения снежной плесенью – в пределах 1–4 баллов (в среднем 2,24 балла). В остальные годы на естественном фоне поражаемость

варьировала в среднем от 3,67 (ЕФ21) до 5,14 балла (ЕФ-22), а у отдельных образцов достигала 7,5 балла. На искусственном инфекционном фоне во все годы наблюдали более интенсивное проявление снежной плесени, особенно на ИФ-21, ИФ-22 и ИФ-24.

Таблица 1 – **Метеопараметры зимнего этапа вегетационного периода и поражение снежной плесенью на естественном и искусственном фонах развития инфекции (2019–2024 гг.) /**
Table 1 – **Meteorological parameters of the winter stage of the growing season and snow mold damage on the natural and artificial background of infection development (2019–2024)**

Показатель / Indicator	*2019-2020 гг.*	*2020-2021 гг.*	*2021-2022 гг.*	*2022-2023 гг.*	*2023-2024 гг.*
Продолжительность холодного периода, дни / Duration of cold period, days	110	136	144	126	128
Длительность залегания снежного покрова, дни / Snow cover duration, days	102	149	153	128	136
Количество оттепелей, дни / Number of thaws, days	40	10	52	30	34
Максимальная высота снежного покрова, см / Maximum snow cover height, cm	35	78	74	57	95
Высота снежного покрова на 31 марта, см / Snow cover height as of March 31, cm	0	57	38	0	30
Максимум глубины промерзания почвы, см / Maximum soil freezing depth, cm	37	63	46	33	7
Глубина промерзания почвы на 31 марта, см / Soil freezing depth as of March 31, cm	0	35	37	0	0
Средняя температура воздуха за холодный период, ºС (ноябрь – март) / Average air temperature for the cold period, ºС (November – March)	-2,4	-9,4	-5,7	-6,3	-7,5
Сумма осадков за холодный период, мм (ноябрь – март) / Precipitation amount for the cold period, mm (November – March)	135	163	254	228	310
Поражение снежной плесенью на естественном фоне*, балл / Snow mold damage on a natural background, point	2,41±1,04	3,67±1,39	5,15±1,08	3,72±0,82	4,53±1,13
Поражение снежной плесенью на искусственном инфекционном фоне к *Microdochium nivale,* балл / Snow mold damage on artificial infection background to *Microdochium nivale,* point	4,48±1,70	6,78±0,91	7,23±0,77	4,52±0,81	8,40±0,72

* Среднее значение по 60 образцам озимой ржи / * Average data for 60 winter rye samples

На естественном фоне уровень поражения преимущественно зависел от складывающихся погодных условий. Например, за последний десятилетний период количество оттепелей и высота снежного покрова на 31 марта проявили сильную положительную корреляцию с поражением снежной плесенью (r = 0,82* и r = 0,73* при $r_{крит.}$= 0,632), и, наоборот, глубина промерзания почвы имела отрицательную связь с этим показателем (r = -0,69*), что совпадает с данными других исследований [10].

В зимний период 2023–2024 гг. в результате сильных снегопадов сформировался значительный снежный покров высотой 95 см, средний балл поражения растений достиг максимальной отметки 8,40 балла. Анализ показал статистически значимые различия (за исключением 2023 г.) и более высокие значения степени поражения растений на искусственном фоне по сравнению с естественным, подтверждая его эффективность для выявления восприимчивых образцов. В то же время устойчивость растений на естественном фоне зависела от их способности адаптироваться к специфическим полевым условиям. Несмотря на относительную простоту и невысокую затратность такого подхода, он обладает рядом ограничений: влияние неконтролируемых погодных факторов и неравномерное распределение инфекционной нагрузки. Например, в местах с низким микрорельефом или поблизости от лесополос поражение растений больше, чем на возвышенных участках или в удалении от посадок. Комбинированное использование анализа естественного

и искусственного фонов позволяет получить наиболее точную оценку устойчивости растений и выделить ценные источники полезных признаков для селекционной работы.

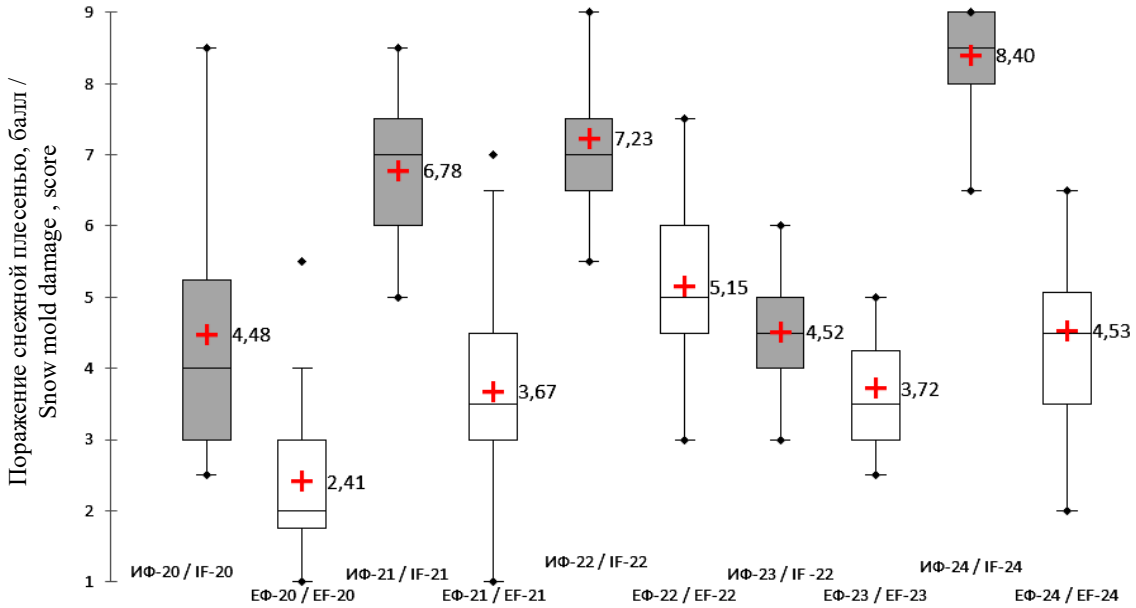


Рис. 1. **Степень поражения образцов озимой ржи снежной плесенью на естественном и искусственном инфекционном фонах (2020–2024 гг.): темные боксы представляют оценку на искусственном фоне (ИФ); белые боксы – на естественном фоне развития заболевания (ЕФ).** Ячейки представляют 50 %, усы – 95 % наблюдений за поражением, плюс показывает среднее значение, горизонтальные линии внутри ячеек – медиану, открытые точки – выбросы. В 2021–2024 гг. представлены данные по ИФ *M. nivale* /

Fig. 1. **The degree of snow mold damage of winter rye samples on natural and artificial infection backgrounds (2020–2024): dark boxes represent estimates against an artificial background (IF) and white boxes represent estimates against a natural background (EF).** Boxes represent 50 % and whiskers represent 95 % of damage observations, plus indicates the mean, horizontal lines within boxes represent the median, and open dots represent outliers. In 2021–2024, data on *M. nivale* IF are presented.

В целом нами выявлен умеренный (до 5 баллов) и умеренно-восприимчивый тип реакции сортов озимой ржи на ЕФ развития заболевания в четыре из пяти лет изучения.

В ходе проведенных экспериментов на естественном фоне фиксировались сорта с типами реакции R, MR, MS, а доля восприимчивых образцов составила лишь 2 % в 2021 г. и 3 % – в 2022 г. (рис. 2). Доля умеренно-восприимчивых сортов в 2023 г. составила 69 %, в 2020 г. преобладали резистентные сорта (63 %).

Наибольшее поражение снежной плесенью на инфекционном фоне зарегистрировано в 2024 г., когда частота образцов с восприимчивой реакцией достигла 96 %. В 2021, 2022 и 2023 гг. образцы показали только два типа реакции на поражение, тогда как в 2020 г. были выявлены все четыре типа.

Большой размах варьирования признака у сортов озимой ржи, полученный на ЕФ-24, можно объяснить сложившимися благоприятными условиями для развития возбудителя. Продолжительность холодного этапа перезимовки составила 128 дней, тогда как длительность залегания снежного покрова на ЕФ – 138 дней, а на инфекционных фонах – 148 дней (табл. 1). Высокий снежный покров при слабом промерзании почвы (1–7 см) создали исключительно благоприятный фон для эпифитотийного развития снежной плесени.

Сравнение степени поражённости сортов на автономных инфекционных питомниках различными патогенами-возбудителями показало интенсивное развитие заболеваний в 2024 г. Пораженность достигала максимальных баллов: 6,5–9,0 баллов для инфекционного питомника *M. nivale*; 6,0–9,0 баллов – для *T. Incarnata*; 8,0–9,0 баллов – для *T. ishikariensis* при сравнении с показателями в естественных условиях, которые варьировали в пределах от 2,0 до 7,8 балла (рис. 3).

Исследуемая панель была представлена значительным генетическим разнообразием включенных в опыт образцов, которые демонстрировали широкую вариацию признака. Коэффициент вариации пораженности на инфекционных фонах изменялся в диапазоне CV = 3,0–9,1 %, на естественном фоне (ЕФ)

этот показатель достигал 26,9 %. Средний уровень поражения для образцов в инфекционных питомниках составил 8,55; 8,17 и 8,86 балла для инфекционных фонов с патогенами *M. nivale, T. incarnata* и *T. ishikariensis* соответственно, что вдвое превышало среднюю поражённость на естественном фоне (4,73 балла) (рис. 3). Эти данные указывают на интенсивное развитие снежной плесени на искусственных инфекционных фонах и умеренное её проявление в природных условиях 2024 г.

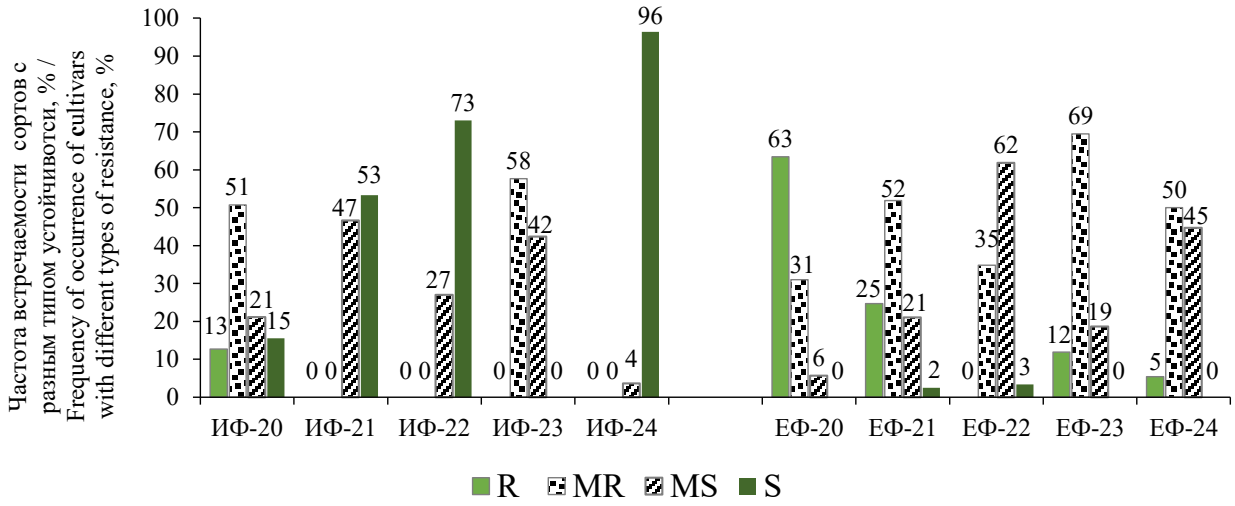


Рис. 2. **Распределение образцов озимой ржи по типам реакции на поражение снежной плесенью на естественном и искусственном инфекционном фонах, % (2020–2024 гг.): R – устойчивые; MR – умеренно устойчивые; MS –умеренно восприимчивые; S –восприимчивые /**

Fig. 2. **Distribution of winter rye samples by snow mold damage response types on natural background and on artificial infectious background, % (2020–2024): R – resistant; MR– moderately resistant; MS –moderately susceptible; S – susceptible**

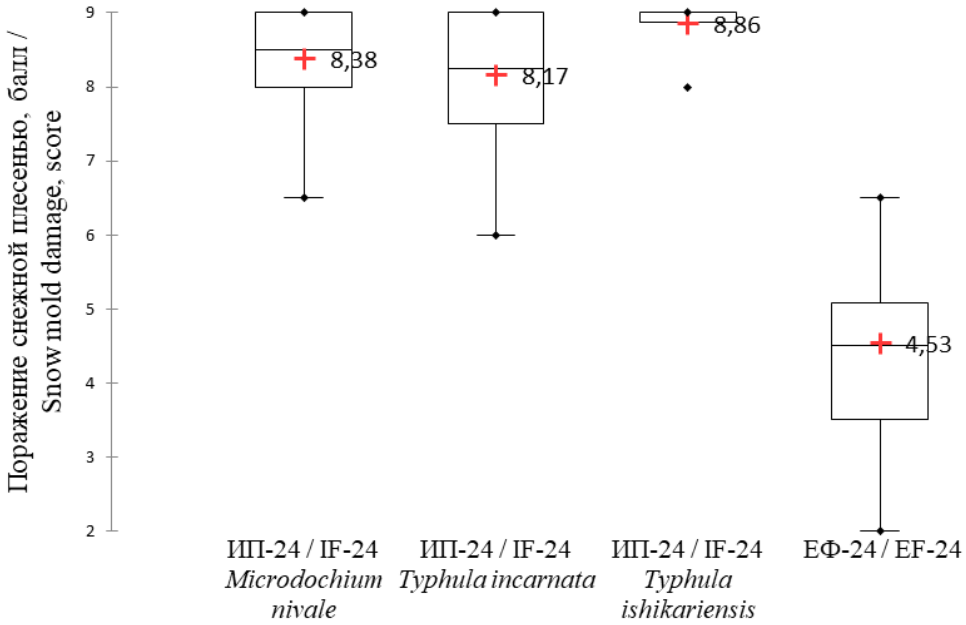


Рис. 3. **Поражение образцов озимой ржи снежной плесенью, балл (2024 г.). Количество сортов во всех питомниках одинаковое (n = 60) /**

Fig. 3. **Snow mold infestation of winter rye samples, score (2024). The number of cultivars in all nurseries is the same (n = 60)**

Кроме того, была выявлена значительная положительная сопряженность между степенью поражения снежной плесенью и гибелью растений (r = 0,672***±0,097). Этот результат говорит о высокой перспективности применения методов скрининга селекционного мате-

риала на инфекционном фоне для отбора устойчивых линий.

Следует подчеркнуть, что диагностика грибных заболеваний и оценка уровня поражения растений патогенами проводятся, как правило, по визуальным симптомам с использованием стандартизированных шкал учёта. Методы оценки устойчивости сортов и селекционного материала к снежной плесени существенно различаются по срокам проведения и применяемым шкалам. В РФ традиционно использовалась шкала, предложенная Госсорткомиссией по испытанию сортов сельхозкультур (1989 г.)[2]. С момента её издания прошло более 40 лет, и в актуальной версии методики (2019 г.)[3] оценка устойчивости к снежной плесени вообще не упоминается, что вынуждает исследователей применять устаревшие рекомендации. Согласно имеющимся методикам, учёты рекомендуется проводить в динамике в три этапа: осенью (в конце сентября); зимой (сбор монолитов и их проращивание в лабораторных условиях в январе – феврале); ранней весной.

Однако данный методологический подход недостаточно эффективен для оценки большого объёма генетических ресурсов и проведения скрининга линий, необходимых для геномной селекции. В условиях ограниченного объёма семенного материала и малых размеров экспериментальных делянок чаще всего применяется единичная визуальная оценка растений весной, после схода снежного покрова.

В селекционно-генетических исследованиях оценка поражения посевов снежной плесенью (*M. nivale*) долгое время осуществлялась на основе метода, разработанного В. К. Неофитовой (1976)[4] и изложенного в руководствах Е. И. Андреевой и О. Ю. Молчанова (1977)[5]. Анализ устойчивости сортов предлагалось проводить весной через 10 дней после схода снега, используя шестибалльную шкалу: 0 баллов – соответствует полному отсутствию признаков поражения на растениях; 1 балл – поражено до 10 % площади листьев; 2 балла – от 10 до 25 % площади листьев; 3 балла – до 50 % площади листьев; 4 балла – свыше 50 % площади листьев, но 1-2 центральных листа живы, и узел кущения не затронут болезнью; 5 баллов – растение погибло. В ряде исследований применялась альтернативная пятибалльная шкала для учета уровня развития снежной плесени: 0 – отсутствие поражения; 1 – поражено до 10 % листьев; 2 – до 30 % листьев; 3 – до 70 % листьев; 4 – все листья и побеги поражены, растения погибли.

Подобный подход был отражён в работах М. Прончук, Л. Мадей (M. Pronczuk, Л. Madej (1996)) [15], а также в трудах отечественных авторов, включая С. Д. Здрожевскую и соавт. (2007)[6] и О. М. Касынкину и соавт. (2017) [16]. Однако вышеупомянутые шкалы полевой оценки устойчивости к снежной плесени, считающиеся приемлемыми в условиях умеренного развития заболевания, оказались недостаточно информативными для наших задач.

Во-первых, их использование оказалось неприменимым для работы на фоне искусственного заражения или в годы интенсивных естественных эпифитотий, которые фиксировались практически ежегодно на протяжении последнего десятилетия. Во-вторых, максимальный балл оценки не в полной мере отражал наблюдаемую степень вредоносности патогена, а также не обеспечивал достаточной дифференциации исследуемого селекционного материала по уровням поражения снежной плесенью.

Мы сосредоточили внимание на исследованиях, где применяется более детализированная девятибалльная шкала оценки устойчивости сортов к снежной плесени на основе степени поражения. Среди таких подходов выделяется адаптированная шкала Л. Т. Бабаянц и коллег (1988)[7]. В зарубежной практике используемые шкалы порой имеют существенные

[2]Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. 194 с. [Электронный ресурс]. URL: https://gossortrf.ru/publication/metodiki-po-ksi.php (дата обращения 10.01.2025).
[3]Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 2019. 329 с. [Электронный ресурс]. URL: https://gossortrf.ru/publication/metodiki-po-ksi.php (дата обращения 10.04.2025).
[4]Неофитова В. К. Методы полевой оценки устойчивости сортов озимых зерновых культур к снежной плесени. Минск: БелНИИЗР. 1976. С. 4
[5]Андреева Е. И., Молчанов О. Ю. Снежная плесень озимых зерновых. М.: НИИТЭХИМ. 1987. С. 45
[6]Здрожевская С.Д. и др. Болезни зерновых культур. Методические указания по регистрационному испытанию фунгицидов в сельском хозяйстве. Под ред. С. Ф. Буга. Несвиж: укрупн. тип. им. С. Будного, 2007. С. 61–101.
[7]Бабаянц Л.Т., Мештерхази А., Вехтер Ф. и др. Методы селекции и оценки устойчивости пшеницы и ячменя к болезням в странах-членах СЭВ. Прага. 1988. С. 321

различия. Так, в работе Э. Б. Крузе с соавт. (E. B. Kruse et al. (2017)) [17] снежная плесень оценивалась в полевых условиях по шкале от 0 (0 % живой растительной массы, обильное заболевание и отсутствие восстановления) до 10 (100 % живой растительной массы, практически полное отсутствие заболевания и быстрое восстановление). И, наоборот, в ряде работ [18] использована шкала оценки от 1 до 9 баллов, где «1» – соответствует отсутствию признаков поражения, «9» – 100%-му поражению.

В наших исследованиях для полного охвата фенотипической изменчивости симптомов заболевания, характеризующих степень устойчивости/восприимчивости растений, была разработана и в течение нескольких сезонов апробирована более подробная девятибалльная шкала, которая применялась в работе [19] и используется по настоящее время. Точное полевое фенотипирование по разработанной шкале стало важной основой для применения передовых геномных технологий, таких как анализ геномных ассоциаций (GWAS) для выявления генов устойчивости [20].

Для повышения эффективности тестирования селекционного материала нами предложена 9-балльная шкала. Соответствие баллов поражения наблюдаемым симптомам устойчивых/восприимчивых фенотипов, а также степени поражения отдельного растения и всего посева приведены в таблице 2. Оценка проводится в 2 этапа (1-я оценка, фиксирующая степень поражения снежной плесенью, 2-я оценка, регистрирующая отставание в развитии в ходе регенерации после острой фазы заболевания). Согласно предложенной методике, первая оценка проводится сразу после таяния снега и позволяет идентифицировать наиболее восприимчивые образцы. У этих растений поражение проявляется не только в отмирании листьев, но также побегов и узлов кущения. Повторная оценка выполняется через 10–25 дней (в зависимости от погодных условий) и дает возможность выявить задержку развития растений после активной фазы заболевания.

Этот этап учитывает окончательное отмирание пораженных побегов, замедление роста оставшихся и восстановление листовой массы в ходе регенерации. Такой подход позволяет оценить потенциал генотипа к сопротивлению болезни (толерантность), а также измерить степень редукции числа побегов, сформированных с осени, что может служить косвенным индикатором ожидаемой продуктивности. Отставание развития растений определяется по той же девятибалльной шкале (1–9), где «1» – обозначает отсутствие видимых симптомов инфекции, «9» — растения полностью мертвые, без признаков отрастания листьев.

Заключение. Таким образом, результаты экспериментов, полученные при естественном заражении, играют важную роль для оценки уровней устойчивости, так как они отражают реальные процессы распространения и развития снежной плесени в природных условиях. Анализ поражения сортообразцов в условиях искусственных инфекционных фонов, использованных в работе, имитирует эпифитотии, что позволяет более надежно выявлять устойчивые генотипы. Искусственное заражение дополняет данные, полученные в естественных условиях, ускоряя селекционный процесс. Одним из главных преимуществ использования инфекционных фонов – объективная оценка болезнеустойчивости изучаемых генотипов и значительно меньшая зависимость проявления болезней от складывающихся погодных условий. Использование инфекционных фонов позволяет сократить на несколько лет селекционный процесс.

Создание исходного болезнеустойчивого селекционного материала представляет собой сложный процесс, требующий решения множества сопутствующих задач. Среди них выделяются вопросы разработки методики закладки инфекционных фонов, проведения шкалирования и фенотипической оценки. В ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН было создано несколько инфекционных фонов, каждый из которых предназначен для изучения воздействия конкретного возбудителя снежной плесени. Также были разработаны методики инфицирования и визуальной оценки растений, которые позволяют отбраковать на самых ранних этапах селекционной работы заведомо бесперспективные формы, восприимчивые к возбудителям данного заболевания, а в селекционную программу включать генотипы, относящиеся к категориям «устойчивые» (R) и «умеренно устойчивые» (MR), характеризующиеся наименьшими баллами поражения.

Для увеличения качества скрининга селекционного материала озимой ржи на устойчивость к возбудителям снежной плесени и повышения точности фенотипирования растений нами была усовершенствована шкала его оценки на естественном и искусственном инфекционном фонах.

Таблица 2 – **Соответствие симптомов поражения посева, единичного побега и площади поражённых частей растений озимой ржи баллам поражения снежной плесенью (оригинальная методика) /**
Table 2 – **Correlation of crop damage symptoms, single shoot and area of damaged plant parts with snow mold damage score (original method)**

Тип устойчивости / Type of sustainability	*Балл поражения / Damage score, points*	*Площадь поражения посева, % / Area of damage to the crop, %*	*Признаки поражения посева / Symptoms of crop damage*	*Признаки поражения листьев / Symptoms of leaf damage*	*Признаки поражения побегов кущения / Symptoms of damage to tillering shoots*
Устойчивый (R) / Resistant	1	0-0,1	Отсутствуют признаки поражения посева / No signs of crop damage	Все листья зеленые/ All leaves are green	Побеги и узлы кущения здоровые / Healthy shoots and tillering nodes
	2	До 1 / Up to 1	Единичное поражение отдельных растений / Single damage of individual plants	Большая часть листьев зеленые. Частичное поражение нижних листьев в виде пятен светло-коричневого цвета / Most of the leaves are green. Partial damage on lower leaves in the form of light brown spots	Побеги и узлы кущения здоровые / Healthy shoots and tillering nodes
Умеренно устойчивый (MR) / Moderately resistant	3	До 10 / Up to 10	Поражение растений на площади до 10 % / Plant damage on an area of up to 10%	Частичное поражение и усыхание нижних и верхних листьев в виде пятен, редкий налет мицелия / Partial damage and desiccation of lower and upper leaves in the form of spots, sparse mycelial plaque	Побеги кущения зеленого цвета. Тургор тканей не нарушен / The tillering shoots are green. Turgor of tissues is not disturbed
	4	До 20 / Up to 20	Отдельные пятна пораженных растений на площади до 20 % / Individual spots of affected plants on an area of up to 20%	Поражение нижних и части верхних листьев. На поверхности листьев налет розового цвета / Lower and part of upper leaves are affected. Pink-coloured plaque on the leaf surface	Единичные побеги погибают, узлы кущения не повреждены / Single shoots are dead, tillering nodes are not damaged
Умеренно восприимчивый (MS) / Moderately susceptible	5	До 30 / Up to 30	Пораженные растения занимают треть площади / Affected plants occupy one third of the area	Листья зеленого цвета всех ярусов встречаются на 50 % и более площади посева. На листьях встречается паутинистый налет розового цвета. Листья и листовые влагалища приобретают цвет от светло- до темно-коричневого, быстро усыхают / Green-coloured leaves of all tiers occur in 50% or more of the sown area. Pink-coloured spider webs occur on leaves. Leaves and leaf sheaths become light to dark brown and quickly shrivel up	Боковые побеги светло-коричневого цвета, тургор тканей частично нарушен. Узлы кущения не повреждены / Lateral shoots are light brown in colour, tissue turgor is partially disturbed. The tillering nodes are not damaged
	6	До 60 / Up to 60	Поражение растений на площади до 60 % / Plant damage on an area of up to 60%	Пораженные листья главных и боковых побегов более чем на половине растений. На листьях налет розового или серого цвета. Зеленые листья встречаются только на центральных побегах / Affected leaves of main and lateral shoots on more than half of the plants. Leaves have pink or grey plaque on them. Green leaves are found only on central shoots	Повреждение и отмирание боковых побегов кущения. Побеги светло-коричневого цвета, тургор тканей частично нарушен / Damage and death of lateral tillering shoots. Shoots are light brown in colour, tissue turgor is partially disturbed
Восприимчивый (S) / Susceptible	7	До 80 / Up to 80	Отмечается частичная гибель растений / There is partial death of plants	Значительное поражение и усыхание листьев, ткани разрушены. На листьях налет розового или серого цвета. Зелеными остаются единичные листья / Significant leaf damage and desiccation, tissues destroyed. Leaves are covered with pink or grey plaque. Only a few leaves remain green	Единичные побеги кущения зеленого цвета. Значительная часть побегов светло-коричневого цвета, тургор тканей частично нарушен / Single tillering shoots are green in colour. Significant part of shoots is light brown in colour, tissue turgor is partially disturbed
	8	До 90 / Up to 90	Значительная гибель растений. Отмирание боковых побегов кущения. Отмирание части главных побегов кущения / Significant plant death. Die-off of lateral shoots of tillering. Die-off of part of main tillering shoots	Сильное поражение листьев, ткани разрушены. Сильный склеивающий налет мицелия розового или серого цвета / Severe leaf lesions, tissues destroyed. Strong adhesive mycelial plaque, pink or grey in colour	Побеги загнивают и приобретают коричневый цвет, тургор тканей нарушен. Частичное отмирание корней / Shoots rot and turn brown, tissue turgor is disturbed. Partial root death
	9	95–100	Практически полная гибель растений / Almost complete plant death	Все листья поражены, ткани разрушены и высохли. На листьях почти сплошной налет мицелия / All leaves are affected, the tissues are destroyed and dried out. The leaves have an almost continuous coating of mycelium	Листовые влагалища, узлы кущения и корни отмирают / Leaf sheaths, tillering nodes and roots die off

Разработанная и оптимизированная модель использования искусственного инфекционного фона включает следующие ключевые элементы:

1. Подбор экспериментального участка, который характеризуется длительным периодом таяния снега и равномерным микрорельефом, что обеспечивает стабильный и высокий уровень развития заболевания.

2. Использование тщательно подготовленного инокулята, обогащенного наиболее вирулентными изолятами возбудителей розовой снежной плесени (*Microdochium nivale*), серой снежной плесени (*Typhula incarnata*) и крапчатой снежной плесени (*Typhula ishikariensis*), характерными для конкретного региона.

3. Применение специального метода внесения инфекционного агента в агроценоз с помощью носителя. Для этого используется предварительно автоклавированное дробленое зерно ярового ячменя, на котором в течение 2–4 недель готовится мицелиальная суспензия. Затем инокулят вносится в почву на опытные делянки в оптимальный период инфицирования растений, соответствующий фазе трех настоящих листьев (шкала Цадокса 13).

4. Разработка более детализированной шкалы учета поражения растений, что позволяет проводить точную дифференциацию селекционного материала по степени поражения и эффективно выделять устойчивые генотипы.

Список литературы

1. Ponomareva M. L., Gorskov V. Y., Ponomarev S. N., Korzun V., Miedaner Th. Snow mold of winter cereals: A complex disease and a challenge for resistance breeding. Theoretical and Applied Genetics. 2021;134(2):419–433. DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-020-03725-7 EDN: THTTUN

2. Hoshino T., Xiao N., Tkachenko O. B. Cold adaptation in the phytopathogenic fungi causing snow molds. Mycoscience. 2009;50(1):26–38. DOI: https://doi.org/10.1007/S10267-008-0452-2

3. Белошапкина О. О., Савоськина О. А., Чебаненко С. И., Тараканов Р. И., Джалилов Ф. С.-У. Развитие снежной плесени озимой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья с учетом технологий обработки почвы и погодных условий разных лет. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023;(4):47–57. DOI: https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-4-47-57 EDN: AKTMRE

4. Smith J. D., Jackson N., Woolhouse A. R. Fungal Diseases of Amenity Turfgrass. London: E&F.N. Spon Ltd., 1989. 401 p.

5. Sakhabutdinov I. T., Chastukhina I. B., Ryazanov E. A., Ponomarev S. N., Gogoleva O. A., Balkin A. S., et al. Variability of microbiomes in winter rye, wheat, and triticale affected by snow mold: predicting promising microorganisms for the disease control. Environmental Microbiome. 2025;20(1):3. DOI: https://doi.org/10.1186/s40793-025-00665-x

6. Ткаченко О. Б. Снежные плесени: история изучения, возбудители, их биологические особенности. М.: РАН, 2017. 71 с.

7. Hockemeyer K., Gonzalez Vazquez A., Koch P. L. Persistence of fungicides applied to control snow mold of turfgrass as influenced by snow cover and antitranspirants. Plant Disease. 2024;108(7):2034–2045. DOI: https://doi.org/10.1094/PDIS-05-23-0948-RE

8. Gagkaeva T. Y., Orina A. S., Gavrilova O. P., Gorina N. N. Evidence of *Microdochium* fungi associated with cereal grains in Russia. Microorganisms. 2020;8(3):340. DOI: https://doi.org/10.3390/microorganisms8030340

9. Ганнибал Ф. Б., Гагкаева Т. Ю., Гомжина М. М., Полуэктова Е. В., Гультяева Е. И. Ассоциированные с пшеницей микромицеты и их значимость как возбудителей болезней в России. Вестник защиты растений. 2022;105(4):164–180. DOI: https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-4-16116 EDN: KLHPMB

10. Tredway L. P., Tomaso-Peterson M., Kerns J. P., Clarke B. B. Compendium of turfgrass diseases. USA: APS Press, 2023. 4th ed.

11. Урбан Э. П., Гордей С. И., Артюх Д. Ю., Гордей И. С. Направления, методы и результаты селекции ржи (*Secale cereale* L.) в Беларуси. Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2022;60(2):160–170. DOI: https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170 EDN: VTNHCN

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

13. Miedaner T., Laidig F. Hybrid breeding in rye (*Secale cereale* L.). In Al-Khayri J. M., Jain S. M., Johnson D. V. (Eds.), Advances in plant breeding strategies: Cereals. Springer, Cham, 2019. Pp. 343–372. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8_9

14. Волкова Г. В., Яхник Я. В., Жуковский А. Г. Чувствительность северокавказской и белорусской популяций *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & Hallet к фунгицидам. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022;52(6):42–50. DOI: https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-6-5 EDN: WZLYBG

15. Pronczuk M., Madej L. J. Evaluation of *Microdochium nivale* infection on rye genotypes using different methods. Vortraege fuer Pflanzenzuechtung (Germany). 1996;35:190–192.

16. Касынкина О. М., Орлова Н. С., Каневская И. Ю. Оценка озимых сортов тритикале на устойчивость к болезням. Аграрный научный журнал. 2017;(8):7–10. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=29907362 EDN: ZEMAPN

17. Kruse E. B., Carle S. W., Wen N., Skinner D. Z., Murray T. D., Garland-Campbell K. A., Carter A. H. Genomic regions associated with tolerance to freezing stress and snow mold in winter wheat. G3: Genes, Genomes, Genetics. 2017;7(3):775–780. DOI: https://doi.org/10.1534/g3.116.037622

18. Miedaner T., Höxter H., Geiger H. H. Development of a resistance test for winter rye to snow mold (*Microdochium nivale*) under controlled environment conditions in regard to field inoculations. Canadian Journal of Botany. 1993;71(1):136–144. DOI: https://doi.org/10.1139/b93-015

19. Aamlid T. S., Landschoot P. J., Huff D. R. Tolerance to simulated ice encasement and *Microdochium nivale* in USA selections of greens-type *Poa annua*. Acta Agriculturae Scandinavica Section B–Soil and Plant Science. 2009;59(2):170–178. DOI: https://doi.org/10.1080/09064710802093854

20. Ponomareva M., Gorshkov V., Ponomarev S., Mannapova G., Askhadullin D., Askhadullin D., et al. Resistance to snow mold as a target trait for rye breeding. Plants. 2022;11(19):2516. DOI: https://doi.org/10.3390/plants11192516

References

1. Ponomareva M. L., Gorskov V. Y., Ponomarev S. N., Korzun V., Miedaner Th. Snow mold of winter cereals: A complex disease and a challenge for resistance breeding. Theoretical and Applied Genetics. 2021;134(2):419–433. DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-020-03725-7

2. Hoshino T., Xiao N., Tkachenko O. B. Cold adaptation in the phytopathogenic fungi causing snow molds. Mycoscience. 2009;50(1):26–38. DOI: https://doi.org/10.1007/S10267-008-0452-2

3. Beloshapkina O. O., Savos'kina O. A., Chebanenko S. I., Tarakanov R. I., Dzhalilov F. S.-U. Development of snow mold of winter wheat in the conditions of the central Non-chernozem region with regard to tillage technologies and weather conditions of different years. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2023;(4):47–57. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-4-47-57

4. Smith J. D., Jackson N., Woolhouse A. R. Fungal Diseases of Amenity Turfgrass. London: E&F.N. Spon Ltd., 1989. 401 p.

5. Sakhabutdinov I. T., Chastukhina I. B., Ryazanov E. A., Ponomarev S. N., Gogoleva O. A., Balkin A. S., et al. Variability of microbiomes in winter rye, wheat, and triticale affected by snow mold: predicting promising microorganisms for the disease control. Environmental Microbiome. 2025;20(1):3. DOI: https://doi.org/10.1186/s40793-025-00665-x

6. Tkachenko O. B. Snow molds: history of study, pathogens, their biological features. Moscow: RAS, 2017. 71 p.

7. Hockemeyer K., Gonzalez Vazquez A., Koch P. L. Persistence of fungicides applied to control snow mold of turfgrass as influenced by snow cover and antitranspirants. Plant Disease. 2024;108(7):2034–2045. DOI: https://doi.org/10.1094/PDIS-05-23-0948-RE

8. Gagkaeva T. Y., Orina A. S., Gavrilova O. P., Gorina N. N. Evidence of *Microdochium* fungi associated with cereal grains in Russia. Microorganisms. 2020;8(3):340. DOI: https://doi.org/10.3390/microorganisms8030340

9. Gannibal F. B., Gagkaeva T. Yu., Gomzhina M. M., Poluektova E. V., Gultyaeva E. I. Micromycetes associated with wheat and their significance as pathogens in Russia. *Vestnik zashchity rasteniy* = Plant Protection News. 2022;105(4):164–180. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-4-16116

10. Tredway L. P., Tomaso-Peterson M., Kerns J. P., Clarke B. B. Compendium of turfgrass diseases. USA: APS Press, 2023. 4th ed.

11. Urban E. P., Gordey S. I., Artyukh D. Yu., Gordey I. S. Directions, methods and results of rye (*Secale cereale* L.) breeding in Belarus. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk* = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series. 2022;60(2):160–170. (In Belarus). DOI: https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170

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

13. Miedaner T., Laidig F. Hybrid breeding in rye (*Secale cereale* L.). In Al-Khayri J. M., Jain S. M., Johnson D. V. (Eds.), Advances in plant breeding strategies: Cereals. Springer, Cham, 2019. Pp. 343–372. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8_9

14. Volkova G. V., Yakhnik Ya. V., Zhukovskiy A. G. Sensitivity of the north caucasian and belarusian populations of *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & Hallet to fungicides. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2022;52(6):42–50. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-6-5

15. Pronczuk M., Madej L. J. Evaluation of *Microdochium nivale* infection on rye genotypes using different methods. Vortraege fuer Pflanzenzuechtung (Germany). 1996;35:190–192.

16. Kasynkina O. M., Orlova N. S., Kanevskaya I. Yu. Evaluation of winter varieties of triticale on disease resistance. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2017;(8):7–10. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29907362

17. Kruse E. B., Carle S. W., Wen N., Skinner D. Z., Murray T. D., Garland-Campbell K. A., Carter A. H. Genomic regions associated with tolerance to freezing stress and snow mold in winter wheat. G3: Genes, Genomes, Genetics. 2017;7(3):775–780. DOI: https://doi.org/10.1534/g3.116.037622

18. Miedaner T., Höxter H., Geiger H. H. Development of a resistance test for winter rye to snow mold (*Microdochium nivale*) under controlled environment conditions in regard to field inoculations. Canadian Journal of Botany. 1993;71(1):136–144. DOI: https://doi.org/10.1139/b93-015

19. Aamlid T. S., Landschoot P. J., Huff D. R. Tolerance to simulated ice encasement and *Microdochium nivale* in USA selections of greens-type *Poa annua*. Acta Agriculturae Scandinavica Section B–Soil and Plant Science. 2009;59(2):170–178. DOI: https://doi.org/10.1080/09064710802093854

20. Ponomareva M., Gorshkov V., Ponomarev S., Mannapova G., Askhadullin D., Askhadullin D., et al. Resistance to snow mold as a target trait for rye breeding. Plants. 2022;11(19):2516. DOI: https://doi.org/10.3390/plants11192516

Сведения об авторах

✉ **Пономарева Мира Леонидовна**, доктор биол. наук, профессор, главный научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1648-3938, e-mail: smponomarev@yandex.ru

Пономарев Сергей Николаевич, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8898-4435

Маннапова Гульназ Сулеймановна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9097-783X

Павлова Светлана Юрьевна, аспирант, младший научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6806-800X**

Иванова Ирина Олеговна, аспирант, младший научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0084-3254**

Information about the authors

✉ **Mira L. Ponomareva**, DSc in Biological Science, professor, chief researcher, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059,
e-mail: tatniva@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1648-3938,** e-mail: smponomarev@yandex.ru

Sergey N. Ponomarev, DSc in Agricultural Science, chief researcher, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8898-4435

Gulnaz S. Mannapova, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9097-783X

Svetlana Yu. Pavlova, postgraduate student, junior researcher, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6806-800X

Irina O. Ivanova, postgraduate student, junior researcher, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0084-3254

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.577–584
УДК 632.4.01/.08:633.491

Идентификация и характеристика возбудителей фузариозной сухой гнили картофеля

© 2025. О. П. Гаврилова, А. С. Орина, Т. Ю. Гагкаева✉
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В результате проведённых исследований уточнён таксономический статус 11 штаммов грибов комплекса видов Fusarium oxysporum, выделенных из клубней картофеля с симптомами фузариозной сухой гнили из трёх федеральных округов РФ, а также охарактеризована их патогенность к клубням трёх сортов картофеля и чувствительность к фунгицидам, рекомендованным для защиты этой культуры. С помощью филогенетического анализа фрагментов генов фактора элонгации трансляции (tef) и большой субъединицы РНК полимеразы II (rpb2) анализируемые штаммы идентифицированы как представители двух видов – F. oxysporum s. str. (4 шт.) и F. nirenbergiae (7 шт.). Штаммы F. nirenbergiae были более агрессивными к клубням картофеля сортов Гала, Импала и Ред Скарлет, вызывая в среднем в 1,3–1,9 раза более обширные повреждения растительной ткани (19,0–41,6 мм) по сравнению со штаммами F. oxysporum (3,2–34,6 мм), у которых отмечена значительная вариабельность этого признака. По чувствительности к четырём фунгицидам, содержащим действующие вещества из разных химических классов, выявлены как межвидовые, так и внутривидовые различия. Наибольшую чувствительность штаммы обоих видов проявили к препарату, содержащему беномил, который эффективно ингибировал их рост (EC_{50} = 0,0003 % в среднем для каждого вида). Наименьшая чувствительность штаммов, особенно F. oxysporum, отмечена в отношении препарата, содержащего флудиоксонил (EC_{50} > 1 %).

Ключевые слова: *грибы, Fusarium, Solanum tuberosum, ДНК, филогения, патогенность, фунгициды, чувствительность, полумаксимальная эффективная концентрация*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ проекта 23-26-00105), https://rscf.ru/project/23-26-00105/

Авторы благодарят лаборанта-исследователя ФГБНУ ВИЗР И. И. Трубина за помощь в проведённых исследованиях.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Гаврилова О. П., Орина А. С., Гагкаева Т. Ю. Идентификация и характеристика возбудителей фузариозной сухой гнили картофеля. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):577–584.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.577-584

Поступила: 24.01.2025 Принята к публикации: 28.05.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Identification and characterization of the pathogens causing Fusarium dry rot of potatoes

© 2025. Olga P. Gavrilova, Aleksandra S. Orina, Tatiana Yu. Gagkaeva✉
All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR), Saint-Petersburg, Russian Federation

Based on the results obtained in this study, the taxonomic status of 11 fungal strains belonging to the Fusarium oxysporum species complex isolated from potato tubers with symptoms of Fusarium dry rot collected in three federal districts of the Russian Federation was clarified. The pathogenicity of strains to tubers of three potato cultivars and their sensitivity to fungicides recommended for the protection of this crop were characterized. The phylogenetic analysis of fragments of translation elongation factor (tef) and large subunit of RNA polymerase II (rpb2) genes allowed to identify the analyzed Fusarium strains as representatives of two species – F. oxysporum s. str. (4) and F. nirenbergiae (7). The F. nirenbergiae strains turned out more aggressive to tubers of potato cultivars 'Gala', 'Impala' and 'Red Scarlett' and caused on average 1.3–1.9 times more extensive damage of plant tissue (19.0–41.6 mm) compared to F. oxysporum strains (3.2–34.6 mm), which demonstrated high intraspecific variability in pathogenicity. Characterization of strain' sensitivity to four fungicides containing active substances from different chemical classes revealed both interspecific and intraspecific differences of fungi. The strains of both species were the most sensitive to the benomyl-containing fungicide, which effectively inhibited fungal growth (EC_{50} = 0.0003 % on average for each species). The lowest sensitivity of the strains, especially F. oxysporum, was found in relation to the fludioxonil-containing fungicide (EC_{50} > 1 %).

Keywords: *fungi, Fusarium, Solanum tuberosum, DNA, phylogeny, pathogenicity, fungicides, sensitivity, half-maximum effective concentration*

***Acknowledgments**:* the study was supported by the Russian Science Foundation (project No. 23-26-00105), https://rscf.ru/project/23-26-00105/

The authors thank I. I. Trubin for assistance in this research.

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: Gavrilova O. P., Orina A. S., Gagkaeva T. Yu. Identification and characterization of the pathogens causing Fusarium dry rot of potatoes. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):577–584. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.577-584

Received: 24.01.2025 Accepted for publication: 28.05.2025 Published online: 30.06.2025

Ежегодно при производстве и сохранении урожая картофеля возникают значительные потери, обусловленные его инфицированностью патогенными микроорганизмами, среди которых особой вредоносностью характеризуются грибы рода *Fusarium*, вызывающие фузариозную сухую гниль клубней (ФСГК). Видовой состав возбудителей этого широко распространённого во всех картофелепроизводящих регионах мира заболевания может различаться [1]. На территории РФ состав доминирующих патогенов значительно варьирует в зависимости от географического происхождения партий картофеля [2]. Чаще остальных фузариевых грибов, как правило, встречаются представители комплексов видов *Fusarium sambucinum* [3, 4, 5], а также *F. oxysporum* (FO) [6, 7].

В настоящее время в онлайн-базе данных MycoBank[1], где задокументированы номенклатурные названия грибов, число корректных записей о видах комплекса FO насчитывает более 200. Из-за высокого фенотипического сходства разграничение видов этого комплекса по морфологии затруднительно, поэтому для точной идентификации необходимо привлечение молекулярно-генетических методов [8].

Виды комплекса FO часто демонстрируют высокую агрессивность к клубням картофеля, однако среди них могут встречаться и непатогенные [9, 10, 11]. При проведении защитных мероприятий необходимо учитывать множество факторов, в том числе видовой состав патогенов в конкретном регионе и устойчивость возделываемых сортов картофеля. Кроме того, применение фунгицидов против возбудителей ФСГК является одним из обязательных условий получения и сохранения здорового картофеля [12, 13]. Однако следует учитывать, что у разных видов *Fusarium*, и даже среди штаммов одного вида, чувствительность к действующим веществам (д. в.) химических препаратов может значительно варьировать [14, 15].

Цель исследования – выявление филогенетического разнообразия видов комплекса *Fusarium oxysporum* и сравнительная характеристика штаммов *F. oxysporum* s. str. и *F. nirenbergiae*.

Научная новизна – впервые в РФ проведена оценка генетически охарактеризованных штаммов близкородственных видов комплекса *F. oxysporum*, ассоциированных с клубнями картофеля, выращенного в трёх федеральных округах РФ, по патогенности и чувствительности к фунгицидам.

Материал и методы. Для уточнения видовой идентификации и дальнейшего изучения свойств грибов *Fusarium* из коллекции микроорганизмов лаборатории микологии и фитопатологии ФГБНУ ВИЗР выбрали одиннадцать штаммов, отнесённых по морфологическим признакам к комплексу видов FO. Все штаммы выделены авторами из клубней с симптомами ФСГК, полученных из Приволжского (Башкортостан, Саратовская обл.), Северо-Кавказского (Ставропольский край) и Центрального (Тульская обл., Ярославская обл.) федеральных округов РФ (табл.).

Выделение ДНК из мицелия грибов, предварительно выращенных на картофельно-сахарозной агаризованной среде (КСА), проводили согласно общепринятой методике [16]. Таксономический статус грибов определяли с помощью мультилокусного секвенирования информативных для этой группы грибов участков генов и последующего филогенетического анализа полученных комбинированных нуклеотидных последовательностей. Амплифицировали фрагменты генов фактора элонгации трансляции EF-1α (*tef*) и гена, кодирующего большую субъединицу РНК полимеразы II типа (*rpb2*) согласно протоколам [16], а затем их нуклеотидные последовательности определяли с помощью секвенатора ABIPrism 3500 (Applied Biosystems, Япония) и набора реактивов BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, США). Полученные нуклеотидные последовательности ДНК анализированных штаммов депонировали в базе данных NCBI GenBank (OR020713, OR020721, OR020723, OR020733, OR634784–OR634788, OR634790, OR634793, OR727735–OR727739, OR727741, OR727744, OR727745, OR727747, OR727749, OR727750, OR727739), откуда также выбрали референсные последовательности 34 штаммов 15 близкородственных видов FO для оценки

[1]MycoBank Database. [Электронный ресурс]. URL: https://www.mycobank.org (дата обращения: 20.01.2025).

филогенетических отношений между таксонами методами максимального правдоподобия и Байеса с использованием программ IQ-TREE v. 2.1.2 и MrBayes v. 3.2.1. Достоверность топологии филогенетических деревьев определяли с помощью бутстрэп-анализа (1000 повторностей).

Таблица – **Штаммы грибов *Fusarium*, включенные в исследование /**
Table – ***Fusarium* strains included in this study**

Вид Fusarium / Fusarium species	*Номер в коллекции / Collection number*	*Происхождение / Origin*	*Сорт картофеля / Potato cultivar*	*Год выделения / Year of isolation*
F. oxysporum	MFG 70125	Тульская обл. / Tula oblast	Альянс / 'Al'yans'	2020
F. oxysporum	MFG 70127	Ставропольский край / Stavropol Krai	Коломба / 'Colomba'	2020
F. oxysporum	MFG 70128	Ставропольский край / Stavropol Krai	Коломба / 'Colomba'	2020
F. oxysporum	MFG 70145	Самарская обл. / Samara oblast	Королева Анна / 'Queen Anne'	2020
F. nirenbergiae	MFG 70132	Ярославская обл. / Yaroslavl oblast	Арроу / 'Arrow'	2020
F. nirenbergiae	MFG 70136	Ставропольский край / Stavropol Krai	Неизвестный / Unknown	2020
F. nirenbergiae	MFG 70137	Ставропольский край / Stavropol Krai	Неизвестный / Unknown	2020
F. nirenbergiae	MFG 70139	Ставропольский край / Stavropol Krai	Неизвестный / Unknown	2020
F. nirenbergiae	MFG 70157	Башкортостан / Bashkortostan	Удача / 'Udacha'	2021
F. nirenbergiae	MFG 70159	Башкортостан / Bashkortostan	Удача / 'Udacha'	2021
F. nirenbergiae	MFG 70178	Ставропольский край / Stavropol Krai	Неизвестный / Unknown	2021

Патогенность всех штаммов *F. nirenbergiae* и трёх штаммов *F. oxysporum* оценивали при инокуляции каждым штаммом не менее 5 клубней картофеля каждого из трёх столовых сортов Гала, Импала и Ред Леди по описанной ранее методике [17]. Спустя 28 суток инкубации при 23 °С клубни разрезали вдоль оси инокуляции и измеряли симптомы поражения клубня (мм) в перпендикулярных направлениях, рассчитывая среднее значение. Размеры симптомов в каждом варианте оценивали без учёта размеров инокуляционного канала в контроле: в среднем 13,5±0,1 мм – для клубней сорта Гала, 13,7±0,1 мм – сорта Импала и 14,6±0,4 мм – сорта Ред Леди.

Анализировали чувствительность всех штаммов к четырём фунгицидам: Бенорад, СП (беномил, 500 г/кг); Квадрис, СК (азоксистробин, 250 г/л); Максим, КС (флудиоксонил, 25 г/л); Эместо Сильвер, КС (комбинация пенфлуфена, 100 г/л и протиоконазола, 18 г/л). Препараты разводили в стерильной воде до необходимой концентрации и вносили в охлажденную до 55 °С КСА, на которой затем культивировали грибы [18]. Концентрации Квадрис, Максим и Эместо Сильвер в среде составили 1,0; 0,1; 0,01 и 0,001 % от концентрации рабочего раствора, содержащего максимальную дозу д. в. согласно рекомендации производителей[2]. Выбранные концентрации Бенорада были значительно ниже 0,001; 0,002; 0,0001 и 0,00001 % из-за предварительно установленной высокой чувствительности штаммов к д. в. этого препарата. В программе Quest Graph™ EC50 Calculator рассчитывали концентрацию фунгицида, приводящую к 50%-му подавлению роста каждого штамма гриба (EC_{50}).

Статистическую обработку полученных данных (расчёт средних значений, доверительных интервалов, корреляционный анализ, однофакторный дисперсионный анализ) проводили в Microsoft Excel 2010 и STATISTICA 12.

Результаты и их обсуждение. Филогенетический анализ полученных нуклеотидных последовательностей позволил установить принадлежность выбранных штаммов к двум видам комплекса FO. Штаммы распределились

[2]Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, по состоянию на 9 ноября 2023 г. Часть I. Пестициды. М.: Минсельхоз, 2023. 201 с.

на молекулярно-филогенетическом дереве в две хорошо поддерживаемые клады: четыре из них кластеризовались с типовым штаммом *F. oxysporum* s. str., тогда как 7 других входили в состав клады, включающей референсные последовательности вида *F. nirenbergiae* (рис. 1). Оба вида являются широко распространенными неспециализированными патогенами [8], которые выявляли в составе микробиоты клубней картофеля, выращенного в РФ [19, 20].

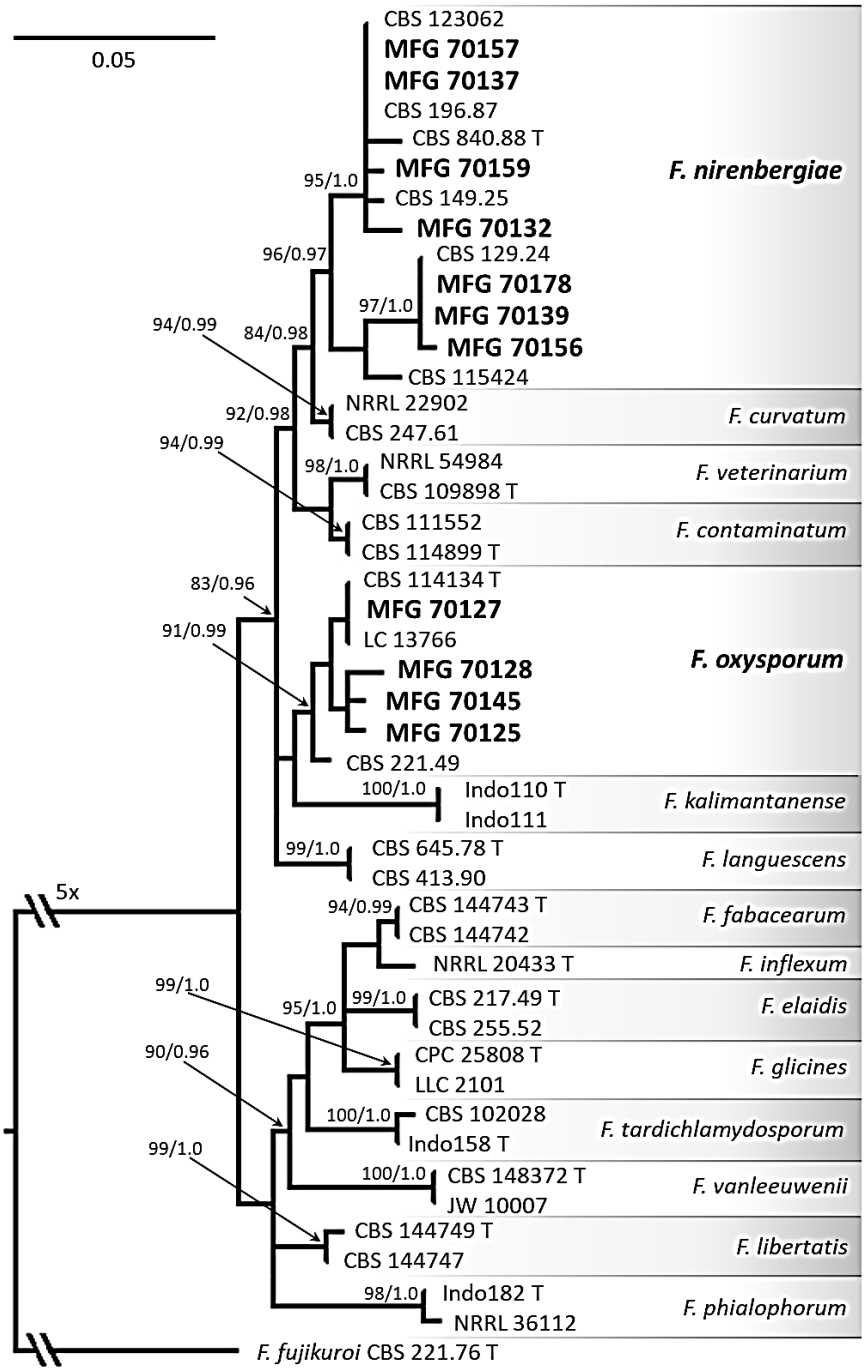


Рис. 1. **Дендрограмма филогенетического сходства видов *комплекса Fusarium oxysporum*, построенная на основе комбинированных последовательностей фрагментов генов *tef* и *rpb2* методом максимального правдоподобия. В узлах приведены значения бутстреп-поддержки (> 70 %) при анализе методом максимального правдоподобия, а также значения Байесовской апостериорной вероятности (> 0,95). Штамм CBS 221.76 *F. fujikuroi* выбран в качестве внешней группы. Анализируемые штаммы выделены полужирным шрифтом. Т – типовой штамм вида /**

Fig. 1. **Maximum likelihood (ML) phylogenetic tree based on DNA sequence data from *tef* and *rpb2* loci of *Fusarium oxysporum* species complex. ML bootstrap support values > 70 %, followed by Bayesian posterior probability (BP) scores > 0.95 are shown at the nodes. The tree was rooted on sequences of *F. fujikuroi* strain CBS 221.76. The studied strains are in bold. T, ex-type strain**

Инокуляция клубней штаммами *F. oxysporum* и *F. nirenbergiae* приводила к значительным повреждениям растительной ткани, размеры которых варьировали в зависимости от вида патогена и сорта картофеля (рис. 2). При инокуляции клубней штаммами *F. oxysporum* размеры повреждений составили от 22,0 до 27,3 мм (сорт Гала), от 5,4 до 31,0 мм (сорт Импала) и от 3,2 до 34,6 мм (сорт Ред Леди), а при инокуляции *F. nirenbergiae* варьировали в пределах – 29,7–38,4 мм (Гала), 28,7–40,5 мм (Импала) и 19,0–41,6 мм (Ред Леди). В среднем штаммы *F. nirenbergiae* были в 1,3–1,9 раза более агрессивными к клубням трех сортов картофеля ($p = 0{,}0037 \div p = 0{,}012$) достоверно по сравнению со штаммами *F. oxysporum*.

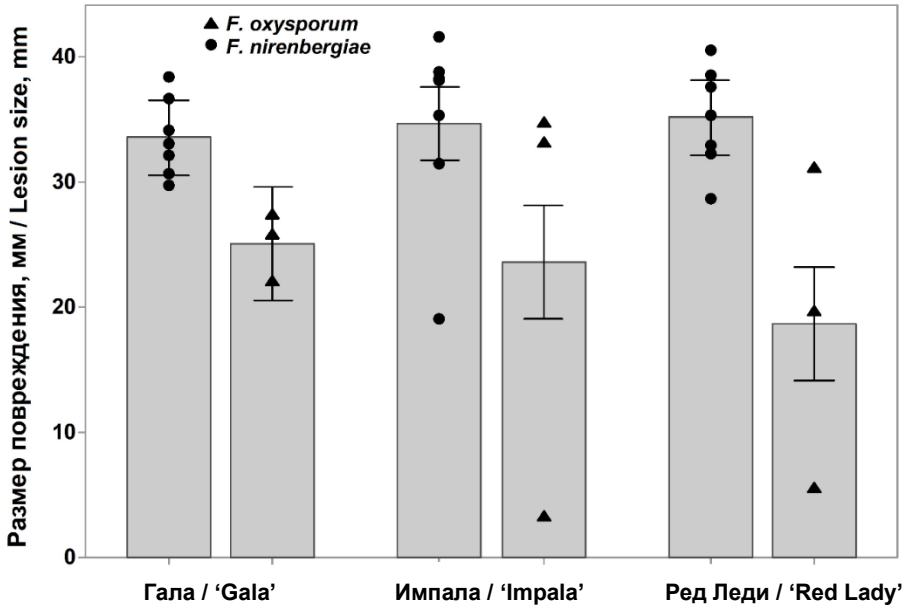


Рис. 2. **Средние размеры симптомов фузариозной сухой гнили картофеля трёх сортов (столбцы) при инокуляции штаммами *F. oxysporum* и *F. nirenbergiae* (23 °С, 4 недели). Фигурными знаками приведены значения индивидуальных штаммов. Отрезками указаны доверительные интервалы при уровне значимости 95 % /**

Fig. 2. **Average sizes of Fusarium dry rot symptoms of tubers of three cultivars of potato (columns) under inoculation with *F. oxysporum* and *F. nirenbergiae* strains (23 °C, 4 weeks). Figured signs mean the values of individual strains. Bars indicate confidence intervals at the significance level of 95 %**

Типичными симптомами фузариозной сухой гнили являются темные углубления различного размера вокруг места инфицирования клубня, усыхание ткани с формированием концентрических колец на поверхности. Также в зависимости от агрессивности гриба наблюдается образование в клубне внутренних полостей разного размера, окаймленных от внешне здоровой ткани границей от светло- до темно-коричневого цвета и часто выстланных мицелием и спороношением гриба. Однако некоторые штаммы грибов *Fusarium* могут также вызывать обширную мацерацию окружающей ткани вокруг образовавшейся полости, доходящей до перидермы клубня (рис. 3). Такое размягчение и чрезмерное увлажнение ткани, возникающее под действием вторичных метаболитов фузариевых грибов, мало похоже на классический симптом фузариозной сухой гнили, что следует учитывать при визуальной диагностике заболеваний клубней.

В нашем исследовании не установлены достоверные различия между сортами по устойчивости к инфицированию штаммами двух видов FO, несмотря на то что при инокуляции клубней другими патогенами *Fusarium* такие различия выявляли [5, 21]. Достоверная связь отмечена между размерами повреждений клубней, вызванных анализированными штаммами обоих видов, для сортов Импала и Ред Леди (коэффициент корреляции составил 0,73 при $p = 0{,}0016$).

Добавление фунгицидов в КСА ограничивало рост всех штаммов с различной эффективностью. Рассчитанные значения EC_{50} препаратов выявили различия в чувствительности штаммов двух видов *Fusarium* к фунгицидам, выбранным для исследования. В подавлении роста штаммов грибов обоих видов наиболее эффективен препарат Бенорад: значения EC_{50} для *F. oxysporum* и *F. nirenbergiae* в среднем были сходными и составили 0,0003 % от кон-

центрации рабочего раствора. Все анализированные штаммы также оказались чувствительны к препарату Эместо Сильвер, содержащему пенфлуфен и протиоконазол, без значительных различий по чувствительности: EC_{50} препарата для штаммов *F. oxysporum* и *F. nirenbergiae* в среднем составила 0,052 % (диапазон значений 0,024–0,087 %) и 0,040 % (0,01–0,059 %) соответственно. В то же время штаммы *F. oxysporum* оказались в среднем в 7 раз менее чувствительны (EC_{50} = 0,16 % от концентрации рабочего раствора) к препарату Квадрис, содержащему азоксистробин, чем штаммы *F. nirenbergiae* (EC_{50} = 0,023 %), причем у двух штаммов *F. oxysporum* MFG 70125 и *F. nirenbergiae* MFG 70178 обнаружена низкая чувствительность к этому препарату (EC_{50} превышала 1,0 %). Все штаммы *F. oxysporum* и два штамма *F. nirenbergiae* (MFG 70157 и MFG 70178) характеризовались низкой чувствительностью к препарату Максим, содержащему флудиоксонил, EC_{50} превышала 1,0 %, а для остальных штаммов *F. nirenbergiae* EC_{50} в среднем составила 0,0061 %.

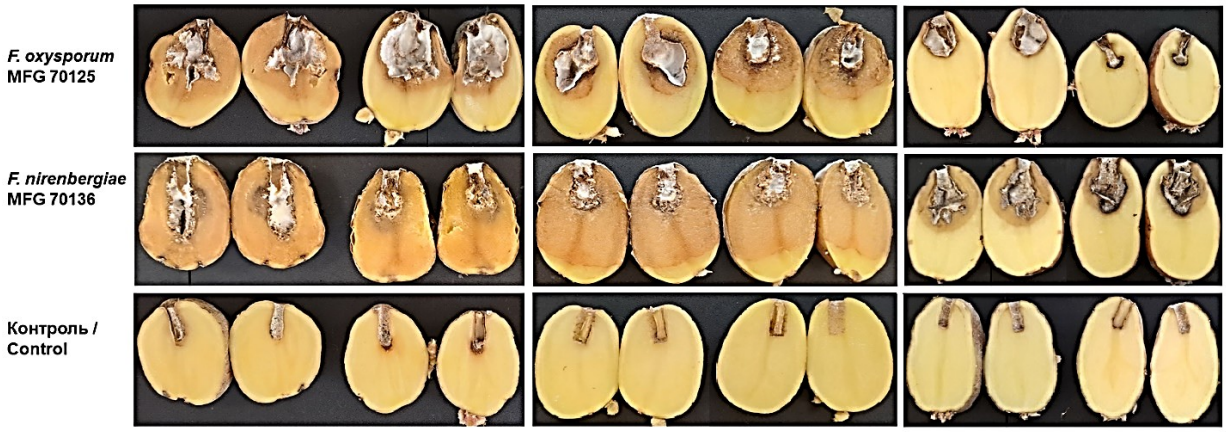


Рис. 3. **Симптомы фузариозной сухой гнили клубней картофеля трёх сортов при инокуляции грибами *F. oxysporum* и *F. nirenbergiae* (23 °C, 4 недели) /**

Fig. 3. **Symptoms of Fusarium dry rot of tubers of three potato cultivars under inoculation with *F. oxysporum* and *F. nirenbergiae* strains (23 °C, 4 weeks)**

В недавнем исследовании показано, что фунгицид, содержащий пенконазол, эффективно подавлял рост штаммов *F. oxysporum*, выделенных из картофеля, в отличие от препарата, содержащего флудиоксонил, низкие концентрации которого приводили к увеличению роста мицелия штаммов по сравнению с контролем [22]. Снижение чувствительности к флудиоксонилу отмечено среди разных видов *Fusarium* – возбудителей ФСГК, в том числе *F. oxysporum* [14, 15, 23], и вызывает серьезные опасения относительно перспектив использования фенилпирролов или их производных в качестве фунгицидов для защиты картофеля.

Заключение. Среди штаммов, выделенных из клубней картофеля различного географического происхождения, по морфологическим признакам отнесенных к комплексу видов FO с помощью филогенетического анализа на основании последовательностей фрагментов генов *tef* и *rpb2* подтверждена принадлежность к двум видам – *F. oxysporum* и *F. nirenbergiae*.

Характеристика патогенности этих штаммов к клубням картофеля трёх сортов выявила, что штаммы *F. nirenbergiae* являлись более агрессивными по сравнению со штаммами *F. oxysporum*. Различий сортов картофеля по восприимчивости к инфицированию грибами обоих видов не установлено. Присутствие беномила в питательной среде приводило к наиболее эффективному ингибированию роста штаммов обоих видов комплекса FO по сравнению с другими анализированными д. в. Доля штаммов, проявивших низкую чувствительность к азоксистробину и флудиоксонилу, составила 18 и 55 % от общего числа соответственно, что указывает на риск снижения эффективности широко применяемых фунгицидов, содержащих в своём составе эти д. в., для контроля возбудителей фузариозной сухой гнили картофеля. Полученные результаты позволят проводить более целенаправленный подбор химических препаратов для эффективного подавления патогенов с целью получения качественного урожая картофеля и увеличения срока его

хранения. Кроме того, корректно идентифицированные штаммы *Fusarium* с известными свойствами также могут служить объектами в дальнейших исследованиях по разработке новых перспективных химических и биологических препаратов для защиты картофеля.

References

1. Tiwari R. K., Kumar R., Sharma S., Sagar V., Aggarwal R., Naga K. C., et al. Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management. 3 Biotech. 2020;10(11):503. DOI: https://doi.org/10.1007/s13205-020-02496-8

2. Гагкаева Т. Ю., Орина А. С., Гаврилова О. П., Трубин И. И., Хютти А. В. Распространение фузариозной сухой гнили клубней картофеля в Российской Федерации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(1):98–106. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.1.98-106 EDN: NCEOJJ

Gagkaeva T. Yu., Orina A. S., Gavrilova O. P., Trubin I. I., Khiutti A. V. Distribution of Fusarium dry rot of potato tubersin Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(1):98–106. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.1.98-106

3. Azil N., Stefańczyk E., Sobkowiak S., Chihat S., Boureghda H., Śliwka J. Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with tuber dry rot and wilt of potato in Algeria. European Journal of Plant Pathology. 2021;159:495–509. DOI: https://doi.org/10.1007/s10658-020-02177-5

4. Гагкаева Т. Ю., Орина А. С., Трубин И. И., Гаврилова О. П., Хютти А. В. *Fusarium sambucinum* – возбудитель сухой гнили клубней картофеля. Вестник защиты растений. 2023;106(3):137–145. DOI: https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-3-16041 EDN: AXVVWQ

Gagkaeva T. Yu., Orina A. S., Trubin I. I., Gavrilova O. P., Khyutti A. V. *Fusarium sambucinum*: causing dry tuber rot of potatoes. *Vestnik zashchity rasteniy* = Plant Protection News. 2023;106(3):137–145. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-3-16041

5. Christian C. L., Rosnow J., Woodhall J. W., Wharton P. S., Duellman K. M. Pathogenicity of *Fusarium* species associated with potato dry rot in the Pacific Northwest of the United States. Plant Disease. 2024;ja. DOI: https://doi.org/10.1094/PDIS-10-24-2136-RE

6. Elansky A. S., Mislavskiy S. M., Chudinova E. M., Kokaeva L. Yu., Elansky S. N., Denisova E. E., et al. *Fusarium* species affecting potato tubers and tomato fruits in Uganda. Mycology and Phytopathology. 2024;58(2):161–172. DOI: https://doi.org/10.31857/S0026364824020077

7. Kim N. S., Hong S. J., Won H. S., Kim B. S., Gwon S. H. Identification and pathogenicity of species isolated from stored potato tubers showing symptoms of dry rot disease. Potato Research. 2024;67:1797–1808. DOI: https://doi.org/10.1007/s11540-024-09709-0

8. Lombard L., Sandoval-Denis M., Lamprecht S. C., Crous P. W. Epitypification of *Fusarium oxysporum* – clearing the taxonomic chaos. Persoonia. 2019;43:1–47. DOI: https://doi.org/10.3767/persoonia.2019.43.01

9. Du M., Ren X., Sun Q., Wang Y., Zhang R. Characterization of *Fusarium* spp. causing potato dry rot in China and susceptibility evaluation of Chi-nese potato germplasm to the pathogen. Potato Research. 2012;55:175–184. DOI: https://doi.org/10.1007/s11540-012-9217-6

10. Gashgari R. M., Gherbawy Y. A. Pathogenicity of some *Fusarium* species associated with superficial blemishes of potato tubers. Polish Journal of Microbiology. 2013;62(1):59–66. DOI: https://doi.org/10.33073/pjm-2013-007

11. Stefańczyk E., Sobkowiak S., Brylińska M., Śliwka J. Diversity of *Fusarium* spp. associated with dry rot of potato tubers in Poland. European Journal of Plant Pathology. 2016;145:871–884. DOI: https://doi.org/10.1007/s10658-016-0875-0

12. Bojanowski A., Avis T. J., Pelletier S., Tweddell R. J. Management of potato dry rot. Postharvest Biology and Technology. 2013;84:99–109. DOI: https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.04.008

13. Зейрук В. Н., Белов Г. Л., Васильева С. В., Мальцев С. В., Колесова Е. А. Как избежать потерь при хранении картофеля. Защита и карантин растений. 2024;(1):14–17. DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2024_1_14 EDN: EPMMTH

Zeyruk V. N., Belov G. L., Vasilyeva S. V., Maltsev S. V., Kolesova E. A. How to minimize potato tuber losses during storage. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2024;(1):14–17. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2024_1_14

14. Gachango E., Hanson L. E., Rojas A., Hao J. J., Kirk W. W. *Fusarium* spp. causing dry rot of seed potato tubers in Michigan and their sensitivity to fungicides. Plant Disease. 2012;96:1767–1774. DOI: https://doi.org/10.1094/PDIS-11-11-0932-RE

15. Орина А. С., Гаврилова О. П., Трубин И. И., Гагкаева Т. Ю. Действие фунгицидов на возбудителей фузариозной сухой гнили картофеля. Агрохимия. 2024;(3):37–42. DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188124030057 EDN: DNVIKE

Orina A. S., Gavrilova O. P., Trubin I. I., Gagkaeva T. Yu. Effect of fungicides on fusarium fungi caused potato dry rot. *Agrokhimiya*. 2024;(3):37–42. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188124030057

16. O'Donnell K., Laraba I., Geiser D. M. Pure culture and DNA sequence-based identification of Fusarium from symptomatic plants and diverse substrates. Fusarium wilt. Methods in molecular biology. New York: Humana, 2022. pp. 1–20. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1795-3_1

17. Gavrilova O., Orina A., Trubin I., Gagkaeva T. Identification and pathogenicity of *Fusarium* fungi associated with dry rot of potato tubers. Microorganisms. 2024;12(3):598. DOI: https://doi.org/10.3390/microorganisms12030598

18. Трубин И. И., Орина А. С., Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю. Патогенность и чувствительность к флудиоксонилу грибов рода *Fusarium* – возбудителей сухой гнили клубней картофеля. Защита и карантин растений. 2024;(2):19–22. DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2024_2_19 EDN: BOCSDC

Trubin I. I., Orina A. S., Gavrilova O. P., Gagkaeva T. Yu. Pathogenicity and sensitivity to fludioxonil for fungi of *Fusarium* spp., associated with dry rot of potato tubers. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2024;(2):19–22. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2024_2_19

19. Хадиева Г. Ф., Лутфуллин М. Т., Акосах Й. А., Малова А. В., Мочалова Н. К., Вологин С. Г. и др. Анализ микромицетов рода *Fusarium*, изолированных из инфицированных клубней картофеля, выращенных в Республике Татарстан. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(3):34–39.
DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10307 EDN: YWENZR

Khadieva G. F., Lutfullin M. T., Akosakh Y. A., Malova A. V., Mochalova N. K., Vologin S. G. et al. Analysis of fusarium micromycetes, isolated from infected potato tubers grown in the Republic of Tatarstan. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;32(3):34–39. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10307

20. Белосохов А. Ф., Ярмеева М. М., Долгов А. М., Мисланский С. М., Албантов Г. П., Курчаев М. Л. и др. Грибы рода *Fusarium* на клубнях картофеля. Современная микология в России: мат-лы 5-го съезда микологов России. М.: Академия микологии, 2022. Т. 9. С. 250–252.
Режим доступа: https://istina.ipmnet.ru/publications/article/504031416/

Belosokhov A. F., Yarmeeva M. M., Dolgov A. M., Mislavskiy S. M., Albantov G. P., Kurchaev M. L. et al. Fungi of the genus Fusarium on potato tubers. Modern Mycology in Russia: Proceedings of the 5th Congress of Mycologists of Russia. Moscow: *Akademiya mikologii*, 2022. Vol. 9. pp. 250–252.
URL: https://istina.ipmnet.ru/publications/article/504031416/

21. Aydin M. H., İnal B. Comparative susceptibility of some commercial potato cultivars to *Fusarium sambucinum* and *F. solani* isolates causing tuber dry rot. Applied Ecology and Environmental Research. 2018;16(4):4879–4892. DOI: https://doi.org/10.15666/aeer/1604_48794892

22. Akosah Y. A., Kostennikova Z. S., Lutfullin M. T., Lutfullina G. F., Afordoanyi D. M., Vologin S. G., Mardanova A. M. Induced expression of *CYP51A* and *HK1* genes associated with penconazole and fludioxonil resistance in the potato pathogen *Fusarium oxysporum*. Microorganisms. 2023;11(5):1257.
DOI: https://doi.org/10.3390/microorganisms11051257

23. Peters R. D., Platt H. W., Drake K. A., Coffin R. H., Moorehead S., Clark M. M., et al. First report of fludioxonil-resistant isolates of *Fusarium* spp. causing potato seed-piece decay. Plant Disease. 2008;92(1):172.
DOI: https://doi.org/10.1094/PDIS-92-1-0172A

Сведения об авторах

Гаврилова Ольга Павловна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, лаборатория микологии и фитопатологии, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», ш. Подбельского, д. 3, г. Санкт-Петербург-Пушкин, Российская Федерация, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5350-3221

Орина Александра Станиславовна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, лаборатория микологии и фитопатологии, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», ш. Подбельского, д. 3, г. Санкт-Петербург-Пушкин, Российская Федерация, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7657-6618

✉ **Гагкаева Татьяна Юрьевна**, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория микологии и фитопатологии, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», ш. Подбельского, д. 3, г. Санкт-Петербург-Пушкин, Российская Федерация, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3276-561X, e-mail: t.gagkaeva@mail.ru

Information about the authors

Olga P. Gavrilova, PhD in Biology, senior researcher, the Laboratory of Mycology and Phytopathology, All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR), Podbelskogo shosse, 3, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0002-5350-3221**

Aleksandra S. Orina, PhD in Biology, senior researcher, the Laboratory of Mycology and Phytopathology, All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR), Podbelskogo shosse, 3, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0002-7657-6618**

✉ **Tatiana Yu. Gagkaeva**, PhD in Biology, leading researcher, the Laboratory of Mycology and Phytopathology, All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR), Podbelskogo shosse, 3, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0002-3276-561X**, e-mail: t.gagkaeva@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.585–594
УДК 633.13:631.529:632.4

(cc) BY

Адаптивность новых сортов и линий овса по иммунологическим признакам в условиях Кировской области

© 2025. Т. К. Шешегова, О. А. Жуйкова✉, Л. М. Щеклеина
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Цель исследований – анализ биотической устойчивости и стабильности иммунологических показателей 18 новых сортов и линий пленчатого и голозерного овса селекции Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, созданных с 2005 года по настоящее время. Полевые исследования выполнены в 2020–2024 гг. на фитопатологическом участке при искусственной инокуляции возбудителями пыльной головни, корневых гнилей и красно-бурой пятнистости, а также на естественном фоне развития корончатой ржавчины. Повторность в опытах двукратная. Площадь делянок – 1 м^2. Моделирование инфекционных фонов и учет болезней проводили по общеизвестным методикам. Гидротермические условия вегетации овса в наиболее важные периоды онтогенеза растений варьировали от острозасушливых (ГТК = 0,64–1,00) до избыточно увлажненных (1,50–7,36). По сравнению с сортом Кречет (2005 год районирования) у отдельных линий степень поражения корневыми гнилями снизилась с 14,7 до 7,0 %, красно-бурой пятнистостью – с 14,5 до 11,0 %, корончатой ржавчиной – с 24,5 до 6,5 %, пыльной головней – с 19,8 % до иммунитета. В условиях крайней нестабильности климатических факторов в период вегетации растений пять линий (91h18, 41h18, 50h18, 3h19, 42h12o), проходящих конкурсное испытание, и два сорта (Першерон и Нижегородец) характеризовались достаточно высокой устойчивостью к 3-4-м грибным болезням. Среди них выделены комплексно- и стабильно устойчивые линии (b_i≤1-2): 91h18, 41h18, 50h18, 3h19, 42h12o, из которых 91h18, 3h19 и 42h12o отличались также слабой реакцией на экстремальные условия вегетации растений (S_i^2 = 0,0–4,7). Выявленные генотипы могут быть использованы в селекции овса как источники длительной неспецифической устойчивости к конкретным грибным болезням.

Ключевые слова: *погодные условия, селекционные линии, грибные болезни, поражение, пластичность, стабильность*

Благодарности: исследования проведены при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки РФ в рамках выполнения ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока федерального проекта «Реализация Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства и научное обеспечение развития отраслей агропромышленного комплекса» государственной программы РФ «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шешегова Т. К., Жуйкова О. А., Щеклеина Л. М. Адаптивность новых сортов и линий овса по иммунологическим признакам в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):585–594. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.585-594

Поступила: 30.01.2025 Принята к публикации: 17.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Adaptability of new cultivars and lines of oats according to immunological characteristics in the conditions of Kirov region

© 2025. Tatyana K. Sheshegova, Olga A. Zhuykova✉, Lucia M. Shchekleina
Federal Agricultural Research Center of the Nort-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The purpose of the research was to analyze the biotic resistance and stability of immunological parameters of 18 new cultivars and lines of filmy and naked oats created from 2005 to the present bred by the Federal Agricultural Research Center of the Nort-East named N.V. Rudnitsky. Field studies were carried out in 2020–2024 at the phytopathological site under artificial inoculation with pathogens of dusty smut, root rot and red-brown leaf spot and against the natural background of the development of crown rust. The repetition in the experiments was two-fold. The area of plots was 1 m^2. The modeling of infectious backgrounds and the accounting of diseases were carried out according to well-known methods. The hydrothermal conditions of oat vegetation in the most important periods of plant ontogenesis ranged from acutely arid (HTC = 0.64–1.00) to excessively moist (1.50–7.36). In comparison with the 'Krechet' cultivar (2005 year of zoning), the degree of root rot damage in individual lines decreased from 14.7 to 7.0 %, red-brown leaf spot – from 14.5 to 11.0 %, crown rust – from 24.5 to 6.5 %, dusty smut – from 19.8 % to immunity. In conditions of extreme instability of climatic factors during the growing season, five lines (91h18, 41h18, 50h18, 3h19, 42h12o) undergoing competitive testing and two cultivars ('Percheron' and 'Nizhegorodets') were characterized by a high enough resistance to 3-4 fungal diseases. Comprehensively and steadily resistant lines (b_i<1-2) were identified among them: 91h18, 41h18, 50h18, 3h19, 42h12o, of which 91h18, 3h19, and 42h12o were also characterized by a weak response to extreme vegetation conditions (at S_i^2= 0.0–4.7). The identified genotypes can be used in oat breeding as sources of long-term nonspecific resistance to specific fungal diseases.

Keywords: *weather conditions, breeding lines, fungal diseases, damage, plasticity, stability*

Acknowledgments: the research was carried out under the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the federal project of FARC North-East "Implementation of Federal scientific and technical program of agriculture development and scientific support of the industries of Agro-Industrial Complex" within the state program of the Russian Federation "Scientific and technological development of the Russian Federation".

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: Sheshegova T. K., Zhuykova O. A., Shchekleina L. M. Adaptability of new cultivars and lines of oats according to immunological characteristics in the conditions of Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):585–594. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.585-594

Received: 30.01.2025 Accepted for publication: 17.06.2025 Published online: 30.06.2025

Интерес к производству зерна овса объясняется широким использованием его не только в комбикормовой промышленности, но и пищевой при изготовлении круп, хлопьев, муки, толокна, кондитерских изделий, пищевых концентратов, соусов и т. д. В Российской Федерации производится около 22,5 % мирового объема этой культуры, а основные посевные площади сосредоточены в Сибирском, Приволжском и Центральном федеральных округах [1].

Известно, что возможности современной селекции позволяют создавать все более урожайные сорта сельскохозяйственных культур. Однако высокий продукционный потенциал их часто остается нереализованным из-за воздействия биотических и абиотических стрессоров [2], особенно в условиях усиливающейся нестабильности климата, что увеличивает риски при производстве зерна. Как отмечал академик А. А. Жученко (2009 г.) [3], важнейшим фактором роста урожая и стабилизации производства зерна является селекция адаптивных сортов с высоким потенциалом продуктивности, которая реализуется независимо от складывающихся экологических лимитов. Другие исследователи [4, 5] также отмечают, что в условиях глобального и регионального изменения климата актуальным является создание, изучение и выделение генетического материала, обладающего высокой экологической пластичностью и стабильностью проявления всех признаков, прямо или косвенно влияющих на продуктивность культурных растений.

Специфичные агроклиматические условия Кировской области, входящей в Приволжский федеральный округ (контрастность температурного и влажностного фона в летний период, относительно низкое плодородие почв и повышенная их кислотность), провоцируют практически ежегодное экономически значимое проявление грибных болезней: красно-бурой пятнистости (*Pyrenophora avenae* Ito et Kuribay, анаморфа – *Drechsera avenae* (Eidam) Scharif); корончатой ржавчины (*Puccinia coronata* Cda. f.sp. avenae Fraser et Led), пыльной головни (*Ustilago avenae* (Jens. Pers.); корневых гнилей и фузариоза метелки (*Fusarium* spp.) [6, 7, 8]. Поэтому селекционные программы должны быть направлены на создание селекционно- и иммунологически ценных форм с высокой приспособленностью к меняющимся средовым факторам, поскольку отзывчивость сорта на улучшение или ухудшение условий возделывания в значительной степени определяет его долговечность в производстве [9].

За последние 20 лет в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока создано около 20 пленчатых и голозерных сортов овса, которые в зерновом клине Кировской области занимают около 40 тыс. га (86 %), а в Волго-Вятском регионе – около 230 тыс. га. На заключительных этапах селекционного процесса достаточно много перспективных линий, высокоурожайных и биотически устойчивых [10, 11].

Цель исследований – анализ биотической устойчивости и адаптивного потенциала сортов и линий овса селекции ФАНЦ Северо-Востока на основе прямых иммунологических признаков и расчетов основных статистических параметров.

Научная новизна – впервые у новых сортов овса и перспективных селекционных линий в условиях искусственной инокуляции фитопатогенами изучена иммунологическая реакция на средовые факторы, выявлены пластичные, комплексно- и стабильно устойчивые сорта к корневым гнилям, красно-бурой пятнис-тости, корончатой ржавчине и пыльной головне. Они могут быть использованы как ценные генисточники длительной неспецифической устойчивости к грибным болезням.

Материал и методы. На опытных полях ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2020–2024 гг. изучали 18 сортов и перспективных линий овса пленчатого и голозерного селекции этого НИУ, созданных за 20-летний период. Среди них, пленчатые формы: Кречет (2005 г.), Медведь (2016 г.), Софроновский (на ГСИ с 2023 г.), Кировский 2 (2024 г.) и 4 линии (91h18, 41h18, 50h18, 3h19); голозерные: Вятский (2007 г.),

Першерон (2013 г.), Нижегородец (на ГСИ с 2022 г.) и 7 линий (11h12o, 42h12o 63h11, 74h12, 161h14, 225h14, 5h18). Сорта и линии высевали на фитопатологическом участке в провокационно-инфекционных условиях по пыльной головне, красно-бурой пятнистости и корневым гнилям и на естественном фоне – по корончатой ржавчине. При создании провокационных условий для развития пыльной головни посев фитопитомника проводили в более поздние сроки, т. к. для патогена *Ustilago avenae* важен температурный фон. Провокационные условия для возбудителей корневых гнилей и красно-бурой пятнистости создавали при повторном посеве овса на фитоучастке и более глубокой заделке семян. Площадь делянки 1 м^2, повторность – двукратная. При создании инфекционных фонов и учете болезней использовали общеизвестные методики: М. Ф. Григорьев (1976)[1], В. И. Кривченко с соавт. (1977)[2], О. С. Петрова и О. С. Афанасенко (2003)[3] и шкалу Петерсона по Э. Э. Гешеле[4] – для оценки степени поражения корончатой ржавчиной.

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена по Б. А. Доспехову (1985)[5], оценка адаптивных свойств – по методике S. A. Eberhart и W. A. Russell в редакции В. З. Пакудина, Л. М. Лопатиной (1984)[6]. Метод базируется на расчете линейной регрессии (b_i), отражающей экологическую пластичность генотипа, и среднего квадратичного отклонения от линий регрессии (S_i^2), определяющего стабильность его в меняющихся условиях среды.

Биологическое обоснование этих статистических показателей заключается в следующем: чем больше значение b_i, тем выше реакция генотипа на изменения условий среды и, наоборот, чем меньше S_i^2, тем выше его экологическая стабильность. Рассчитанные параметры b_i и S_i^2 позволяют распределить сорта по группам реакции в лучших или худших иммунологических условиях. Расчет коэффициента вариации (CV, %), проведенный по Б. А. Доспехову (1985)[7], отражает незначительную изменчивость признака при CV≤10 %, от 10 до 20 % – среднюю, более 20 % – значительную.

Результаты и их обсуждение. Погодные условия в годы исследований значительно отличались по среднесуточной температуре и количеству осадков (табл. 1). Судя по уровню гидротермического коэффициента (ГТК), рассчитанного по Г. Т. Селянинову[8], в наиболее важные периоды роста и развития растений овса условия вегетации варьировали от острозасушливых (0,64–1,00) до избыточно увлажненных (1,50–7,36). Начало вегетации в 2020–2022 гг. проходило в относительно благоприятных условиях, в 2023–2024 гг. – при недостатке влаги. В период активного роста и увеличения биомассы растений (флаговый лист – цветение) отмечали избыточное увлажнение. Налив зерна во все годы проходил при жаркой и сухой погоде.

В целом можно отметить, что бóльшая часть вегетации овса в 2022 году проходила при избыточном увлажнении, а в 2024 г. – при его недостатке, в остальные годы исследований – при относительно благоприятных гидротермических условиях. Известно, что для биотических стрессоров характерны достаточно сильные взаимодействия в системе «генотип-среда» [12], а в исследованиях других авторов [13, 14, 15, 16, 17] доказана существенная (при P≥095) связь между суммой осадков в разные этапы онтогенеза растений и развитием грибных болезней. Например, в исследованиях Т. А. Асеевой с соавт. [14] развитие фузариоза колоса пшеницы одинаково тесно было связано с температурой воздуха (r = 0,872) и его влажностью (r = 0,899) в фазу молочной спелости зерна, мучнистой росы – только с температурой (r = 0,514).

[1]Григорьев М. Ф. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. Л., 1976. 60 с.

[2]Кривченко В. И., Щелко Л. Г., Тимошенко З. В. Методы изучения устойчивости ячменя и овса к головнёвым болезням. Методы фитопатологических и энтомологических исследований в селекции растений. Под ред. Ю. Н. Фадеева, А. А. Кузьмичева. М.: Колос, 1977. С. 51–57.

[3]Петрова О. С., Афанасенко О. С. Методические рекомендации по диагностике и методам оценки устойчивости овса к возбудителям пятнистостей листьев. СПб.: ВИЗР, 2003. 27 с.

[4]Гешеле Э. Э. Методическое руководство по фитопатологической оценке зерновых культур. Одесса, 1971. 178 с.

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

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

[7]Доспехов Б. А. Указ. соч.

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

Таблица 1 – **Уровень ГТК в динамике развития растений овса /**
Table 1 – **Level of HTC in the dynamics of oat plants development**

Межфазный период / The interphase period	*2020 г.*	*2021 г.*	*2022 г.*	*2023 г.*	*2024 г.*
Посев – всходы / Sowing – seadlings	1,15	0,85	1,10	1,76	7,36
Всходы– кущение / Seadlings– tillering	0,90	1,25	4,66	0,87	1,00
Кущение – выход в трубку / Tillering – stooling	1,20	1,06	1,29	0,64	0,82
Выход в трубку – флаг-лист / Stooling -flag leave	1,50	1,55	1,38	2,23	0,71
Флаг- лист – цветение / Flag leave – flowering	1,74	1,46	2,85	1,44	1,22
Конец цветения – молочная спелость / The end of flowering - milky maturity	2,56	1,00	0,86	0,80	0,85
Всходы – полная спелость / Seadlings –full maturity	1,60	1,33	1,98	1,58	0,76

В условиях избыточного увлажнения (ГТК 1,8–2,3) в период вегетации растений степень поражения сортов яровой пшеницы в условиях муссонного климата Приморского края достигала 87 % [16]. Доказано также [17], что развитие корончатой ржавчины на 35 % определяют погодные условия и лишь на 27 % – генотип овса.

В наших исследованиях сочетанное действие контрастных средовых факторов значительно влияло не только на гомеостаз растительных генотипов, восприимчивость их к инфекции и иммунологическую характеристику, но и на возбудителей болезней, изменяя их патогенные свойства.

У некоторых изученных линий и сортов овса иммунологическая характеристика в годы исследований изменялась в широких пределах: от иммунности до сильной восприимчивости (табл. 2). Однако можно выделить сорт Першерон и линии 91h18, 41h18, 50h18 с высокой устойчивостью к корневым гнилям, а линии 63h11, 42h12o, 5h18 – с умеренной. Весь изученный генофонд овса в разных абиотических условиях вегетации проявлял среднюю устойчивость к красно-бурой пятнистости (степень поражения до 25,0 %), за исключением восприимчивого сорта Софроновский, что в целом согласуется с ранее выявленными закономерностями о слабом влиянии среды на этот патокомплекс. Высокой устойчивостью к корончатой ржавчине характеризовались четыре линии (91h18, 41h18, 42h12o, 161h14) и сорт Нижегородец, остальные – средней (степень поражения до 25,0 %). Что касается пыльной головни, то при искусственной инокуляции семян *U. avenae* симптомы болезни отсутствовали у голозерных сортов Вятский, Першерон, Нижегородец и линии 42h12o, а практической устойчивостью (поражение до 5,0 %) характеризовались большинство линий (91h18, 41h18, 50h18, 5h18, 3h19, 161h14, 74h12, 225h14) и сорт Софроновский.

Таким образом, пять селекционных линий (91h18, 41h18, 50h18, 3h19, 42h12o), проходящих конкурсное испытание, и два сорта (Першерон и Нижегородец) отличаются наилучшим иммунологическим состоянием и проявляют достаточно высокую устойчивость к 3-4-м грибным болезням при разных условиях вегетации. При этом просматривается тенденция иммунологического улучшения сортов овса в последовательной селекции. Сравнивая сорт-стандарт Кречет, районированный в 2005 году, с новыми линиями обнаружено, что наибольшая для опыта степень поражения корневыми гнилями снизилась за годы исследований с 14,7 до 7,0 % (91h18), красно-бурой пятнистостью – с 14,5 до 11,0 % (161h14), корончатой ржавчиной – с 24,5 до 6,5 % (91h18), пыльной головней – с 19,8 % до отсутствия симптомов болезни (Вятский, Першерон, Нижегородец, 42h12o). Однако следует учитывать, что со временем норма реакции генотипа на патоген может значительно меняться, выходя за пределы того или иного класса устойчивости [18]. Это обусловлено изменением генетической структуры популяций фитопатогенов и действием абиотических факторов на растительный генотип. В результате продолжительность устойчивости снижается, а хозяйственно полезная жизнь сорта сокращается [19].

Поэтому в наших исследованиях перспективный генофонд овса далее был проанализирован по уровню линейной регрессии и дисперсии, что позволило ранжировать его по иммунологической стабильности и пластичности в разных условиях среды (табл. 3). Генотипы, у которых значение b_i значительно меньше 1 и даже имеет отрицательное значение, не отличаются

Таблица 2 – **Характер проявления грибных болезней у линий и сортов овса, % (2020–2024 гг.) /**
Table 2 – **The demonstration of fungal diseases in oat lines and cultivars, % (2020–2024)**

Сорт, линия / Cultivar, line	*Корневые гнили / Root rot*				*Красно-бурая пятнистость / Red-brown leaf spot*		*Корончатая ржавчина / Crown rust*		*Пыльная головня / Dusty smut*	
	поражение / damage		*развитие болезни / disease developmen*		*степень поражения / degree of damage*				*поражение / damage*	
	CV	*среднее / average*	*CV*	*среднее / average*	*CV*	*среднее / average*	*CV*	*среднее / average*	*CV*	*среднее / average*
Кречет / ‘Krechet’	30,0–46,3	37,0	8,5–14,7	11,3	10,5–14,5	11,7	0,0–24,5	9,0	0,09–19,80	4,73
Медведь / ‘Medved’’	15,2–44,2	27,2	6,5–15,5	9,8	10,7–18,0	14,9	0,0–18,5	6,3	0,13–16,10	4,46
Кировский 2 / ‘Kirovsky 2’	13,3–31,8	22,1	3,4–11,5	7,3	8,3–16,5	12,0	0,0–13,2	5,5	0,03–5,40	1,21
Софроновский / ‘Sofronovsky’	16,3–47,5	32,4	4,1–20,5	12,6	6,0–35,7	16,7	0,0–18,5	5,9	0,00–1,40	0,45
91h18	9,7–22,2	15,4	3,0–7,0	5,2	7,8–22,0	12,3	0,0–11,0	3,4	0,00–3,68	0,84
41h18	17,2–40,6	27,3	4,3–10,7	7,9	7,0–13,0	10,1	0,0–11,0	6,0	0,00–0,50	0,11
50h18	19,0–32,1	24,5	4,8–10,0	7,5	8,0–13,0	10,4	0,0–25,0	13,4	0,00–0,80	0,17
3h19	21,4–33,3	27,6	7,4–11,4	8,6	7,0–11,1	9,4	0,0–31,5	18,5	0,00–3,62	0,99
Вятский / ‘Vyatsky’	20,0–53,1	38,0	5,7–19,0	15,3	8,0–15,4	10,7	0,0–18,2	6,7	0,00–0,00	0,00
Першерон / ‘Persheron’	15,8–25,5	19,8	5,3–9,2	7,4	9,0–14,0	11,7	0,0–22,2	9,9	0,00–0,00	0,00
Нижегородец / ‘Nizhegorodez’	15,4–58,3	40,3	3,8–19,0	12,3	8,8–15,0	11,4	0,0–8,0	4,8	0,00–0,00	0,00
11h12o	20,0–47,8	29,2	4,8–12,0	7,6	8,5–12,0	9,8	0,0–22,0	9,1	0,00–12,50	4,16
42h12o	28,6–43,4	35,8	7,1–15,1	11,0	7,8–11,5	9,8	0,0–10,0	4,0	0,00–0,00	0,00
63h11	36,6–53,8	43,3	9,7–13,5	10,8	8,3–14,5	11,7	0,0–20,0	10,6	0,00–6,20	2,06
74h12	18,3–58,8	40,2	4,6–19,1	11,5	6,5–11,5	9,1	0,0–28,5	11,3	0,00–1,77	0,59
161h14	25,0–60,0	39,6	6,3–20,0	12,2	8,5–11,0	9,7	0,0–6,5	3,9	0,00–3,40	1,41
225h14	13,9–42,8	30,0	3,5–17,3	10,8	8,3–21,0	12,8	0,0–16,0	5,2	0,00–1,53	0,51
5h18	23,5–48,0	32,8	5,9–13,3	8,7	6,5–11,8	8,4	-	-	0,00–3,28	1,09
Сорт–индикатор / Indicator cultivar	53,8–69,3	-	13,9–25,3	-	16,8–36,0	-	20,0–35,8	-	-	-

Таблица 3 – **Параметры адаптивности сортов овса по восприимчивости к болезням /**
Table 3 – **Adaptability parameters of oat cultivars in terms of susceptibility to diseases**

Сорт, линия / Cultivar, line	*Корневые гнили / Root rot*						*Красно-бурая пятнистость / Red-brown leaf spot*			*Корончатая ржавчина / Crown rust*			*Пыльная головня / Dusty smut*		
	поражение / damage			*развитие болезни / disease development*			*степень поражения / degree of damage*						*поражение / damage*		
	b_i	S_i^2	*CV, %*	b_i	S_i^2	*CV, %*	b_i	S_i^2	*CV, %*	b_i	S_i^2	*CV, %*	b_i	S_i^2	*CV, %*
Кречет / ‘Krechet’	-1,55	160,7	17,1	2,25	4,4	26,8	2,12	16,8	14,4	1,37	50,6	113,0	6,83	17,3	186,8
Медведь / ‘Medved’’	-0,90	236,7	47,7	1,12	14,3	34,9	1,68	25,1	18,4	1,03	10,8	125,8	5,73	7,8	147,5
Кировский 2 / ‘Kirovsky 2’	-0,68	100,3	35,0	1,21	11,6	43,8	1,63	30,0	28,1	0,67	16,6	91,6	1,79	1,4	144,2
Софроновский / ‘Sofronovsky’	-1,69	286,5	34,7	2,41	40,3	48,0	9,16	28,4	68,7	0,93	31,6	133,0	0,39	0,0	127,2
91h18	-1,78	20,0	34,2	0,64	2,8	20,4	5,54	14,8	46,4	0,63	4,7	46,5	-0,04	3,4	152,0
41h18	-1,39	121,5	32,7	-0,56	6,9	31,5	1,68	18,4	24,6	0,57	17,2	42,1	0,07	0,0	80,1
50h18	-1,28	73,0	24,8	-0,02	6,1	28,3	1,94	13,4	19,0	1,08	105,9	85,8	0,17	0,1	110,0
3h19	-2,92	66,8	20,4	-1,95	2,7	21,4	1,40	1,40	21,5	1,78	60,5	73,0	0,09	3,1	153,4
Вятский / ‘Vyatsky’	-0,31	237,5	33,1	3,60	19,1	36,1	3,78	9,8	34,7	1,05	20,5	104,8	-0,11	0,0	0,0
Першерон / ‘Persheron’	-0,70	36,4	18,8	1,00	2,7	23,4	1,45	12,9	16,1	1,07	37,2	79,2	-0,11	0,0	0,0
Нижегородец / ‘Nizhegorodez’	0,67	245,1	39,1	3,60	17,8	44,8	2,57	7,7	19,8	0,45	10,9	41,3	-0,11	0,0	0,0
11h12o	-0,50	186,0	38,1	0,52	9,8	35,7	1,73	8,5	13,6	1,47	6,2	118,6	2,56	33,6	122,6
42h12o	-1,21	118,5	16,3	1,00	10,7	26,7	1,84	8,2	13,4	0,73	2,8	88,9	-0,11	0,0	0,0
63h11	-4,06	101,6	14,3	-0,68	1,5	14,9	2,24	9,5	20,6	1,03	81,2	76,5	1,21	8,2	122,1
74h12	-0,94	412,8	39,1	-1,03	32,3	45,1	1,71	9,3	19,5	2,09	21,5	136,0	0,17	0,7	122,0
161h14	-0,54	281,3	32,4	3,38	13,5	41,0	1,72	5,0	9,2	0,50	9,6	91,3	0,74	2,0	89,0
225h14	-1,97	252,0	34,5	2,79	23,5	48,7	3,50	28,4	41,2	0,93	9,6	145,0	0,12	0,5	123,0
5h18	-1,18	224,8	40,4	-0,20	12,4	46,6	1,98	47,3	34,7	2,05	16,9	148,3	0,40	2,4	122,4

высокой пластичностью и слабо реагируют на изменения среды. Относительно слабая генотипическая реакция по развитию корневых гнилей (при $b_i \leq 1$) выявлена у большинства исходного материала (Першерон, 91h18, 41h18, 50h18, 5h18, 3h19, 11h12o, 42h12o, 63h11), красно-бурой пятнистости (при $b_i < 2$) – у трех сортов (Медведь, Кировский 2, Першерон) и восьми линий (41h18, 50h18, 5h18, 3h19, 11h12o, 42h12o, 74h12, 161h14), корончатой ржавчины (при $b_i < 1$) – у трех сортов (Кировский 2, Софроновский, Нижегородец) и пяти линий (91h18, 41h18, 42h12o, 161h14, 225h14); по поражению растений пыльной головней (при $b_i < 1$) – у четырех сортов (Софроновский, Вятский, Першерон, Нижегородец) и девяти линий (91h18, 41h18, 50h18, 5h18, 3h19, 42h12o, 63h11, 225h14, 161h14). Можно полагать, что при изменении условий среды норма реакции к этим болезням у данных генотипов существенно не меняется. Среди них наибольшую иммунологическую ценность представляют комплексно- и стабильно устойчивые линии: 91h18, 41h18, 50h18, 3h19, 42h12o. Ранее мы отмечали сочетание устойчивости к фузариозно-гельминтоспориозным болезням сорта Кировский 2 и линий 42h12o, 63h11c высокой урожайностью [20], четыре сортообразца (Кировский 2, 91h18, 41h18, 50h18) характеризуются высокими адаптивными свойствами по отдельным элементам продуктивности [21].

Относительно высокий показатель линейной регрессии (при $b_i \geq 1$-2) по восприимчивости к корневым гнилям выявлен: у сортов Кречет, Медведь, Нижегородец, Вятский, Софроновский и двух голозерных линий 161h14 и 225h14; к красно-бурой пятнистости – у сортов Кречет, Нижегородец, Вятский, Софроновский и линий 91h18, 63h11, 225h14; к корончатой ржавчине – Кречет, Медведь, Вятский, Першерон, 50h18, 5h18, 3h19, 11h12o, 63h11, 74h12; к пыльной головне – Кречет, Медведь, Кировский 2, 63h11, 11h12o. Это свидетельствует о большом влиянии средовых факторов на уровень проявления неспецифической устойчивости к тем или иным грибным болезням. Данные сорта требуют постоянного фитосанитарного мониторинга и оперативных мер защиты по их ограничению.

Особую ценность имеют пластичные по изучаемым признакам сорта с коэффициентом регрессии, равным или меньше 1, а стабильность, близкую к 0 [22]. В этом случае они биотически устойчивы во времени и пространстве. Однако в наших исследованиях в зависимости от вида болезни параметры b_i и S_i^2 значительно варьировали. Оценивая изучаемый генофонд овса по варианс стабильности, среди устойчивых к корневым гнилям образцов можно выделить семь (Першерон, 91h18, 41h18, 50h18, 3h19, 11h12o, 63h11), у которых значение S_i^2 находится в пределах 1,5…6,9. Среди устойчивых к красно-бурой пятнистости обнаружены четыре линии (3h19, 11h12o, 42h12o, 161h14) с относительно низкими для опыта значениями варианс S_i^2 = 1,4…8,5, к корончатой ржавчине – четыре (91h18, 42h12o, 161h14, Нижегородец) с уровнем S_i^2 = 4,7…10,9, к пыльной головне – девять (41h18, 50h18, 42h12o, 74h12, 225h14, Вятский, Першерон, Нижегородец) с $S_i^2 < 1$.

Наибольшей иммунологической нестабильностью к конкретным болезням характеризуются сорта: Софроновский (S_i^2 = 40,3 – корневые гнили); 5h18 (S_i^2 = 47,3 – красно-бурая пятнистость); 50h18 (S_i^2 = 105,9 – корончатая ржавчина); 11h12o (S_i^2= 33,6 – пыльная головня).

С учетом обоих параметров b_i и S_i^2 можно полагать, что наиболее высокой пластичностью и иммунологической стабильностью по устойчивости к корневым гнилям являются линии 3h19 (b_i = -1,95; S_i^2 = 2,7) и 63h11 (b_i = -0,68; S_i^2 =1,5), к красно-бурой пятнистости – 3h19 (b_i = 1,40; S_i^2 =1,4), к корончатой ржавчине – 91h18 (b_i = 0,63; S_i^2 = 4,7) и 42h12o (b_i = 0,73; S_i^2 = 2,8), к пыльной головне – иммунные сорта Вятский, Першерон, Нижегородец и линия 42h12o (b_i = -0,11; S_i^2 = 0,0) и практически устойчивые – Софроновский (b_i = 0,39; S_i^2 = 0,0), 91h18 (b_i = 0,07; S_i^2 = 0,0), 50h18 (b_i = 0,17; S_i^2 = 0,1), 74h12 (b_i = 0,17; S_i^2 = 0,7), 225h14 (b_i = 0,12; S_i^2= 0,5). Они могут быть использованы в селекции на устойчивость к этим болезням в качестве источников признака и родоначальников новых сортов.

Заключение. В ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в последние два десятилетия созданы сорта и перспективные линии овса не только с высоким неспецифическим типом устойчивости к нескольким грибным болезням, но и адаптированные к крайне нестабильным климатическим условиям Кировской области. Среди них наибольшую ценность для селекции на иммунитет представляют новые линии 91h18, 3h19 и 42h12o, отличающиеся стабильно высокой устойчивостью к нескольким биотическим стрессорам и относительно слабой реакцией на экстремальные условия вегетации растений. Комбинация этих признаков в генотипе позволяет увеличить также долговечность этих линий как генисточников.

Список литературы

1. Баталова Г. А., Лисицын Е. М., Changzong R., Андреев Н. Р., Тулякова М. В., Шевченко С. Н., Малько А. М. Селекция овса на европейском северо-востоке России. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(1):21–24. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=25651222 EDN: VPILYP

2. Санин С. С., Карлова Л. В., Кощеев А. В., Корнева Л. Г. Экономические и агроэкологические аспекты химической защиты зерновых культур от вредных организмов. Защита и карантин растений. 2022;(5):3–12. DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2022_5_3 EDN JYSYWD

3. Жученко А. А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы), теория и практика. Т. 3: Особенности реализации стратегии адаптивной интенсификации растениеводства в условиях России. М.: Агрорус, 2009. 958 с. Режим доступа: https://search.rsl.ru/ru/record/01004347543

4. Ripberger E. I., Bome N. A., Trautz D. Variability of the height of plants of hybrid forms of spring common wheat (*Triticum aestivum* L.) under different ecological and geographical conditions. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2015;19(2):35–40. DOI: https://doi.org/10.18699/VJ15.023

5. Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Газе В. Л. Изменение механизмов адаптивности и урожайности сортов озимой мягкой пшеницы в засушливых условиях по этапам сортосмены. Зерновое хозяйство России. 2021;1(1):3–7. DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-3-7 EDN: MXNWTK

6. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М. Фитопатогенная биота в условиях потепления климата (обзор). Теоретическая и прикладная экология. 2022;(3):6–13. DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-006-013 EDN: LKVJRZ

7. Градобоева Т. П., Баталова Г. А. Влияние факторов среды на устойчивость овса к пыльной головне. Зерновое хозяйство России. 2020;(3):72–76. DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-72-76 EDN: AHYJVH

8. Бакулина А. В., Новоселова Н. В., Савинцева Л. С., Баталова Г. А. ДНК-маркеры в селекции овса на устойчивость к корончатой ржавчине (обзор). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(1):224–235. DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-224-235 EDN: OMLUNY

9. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н. Структура генофонда озимой ржи и современные тенденции его улучшения. Генофонд и селекция растений: мат-лы IV Международ. научн.-практ. конф. Новосибирск: Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 2018. С. 275–279. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=35206294 EDN: XSISNV

10. Вологжанина Е. Н., Баталова Г. А. Оценка адаптивности ярового пленчатого овса по урожайности и качеству зерна в условиях Кировской области. Российская сельскохозяйственная наука. 2023;(4):8–12. DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262723040026 EDN: JXAKVR

11. Вологжанина Е. Н. Баталова Г. А., Журавлева Г. П. Кормовая продуктивность плёнчатого овса в условиях Волго-Вятского региона. Достижения науки и техники АПК. 2020:34(4):36–40. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10407 EDN: TOTSLE

12. Бебякин В. М., Кулеватова Т. Б., Старичкова Н. И. Методические подходы, методы и критерии оценки адаптивности растений. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2005;5(2):69–71. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=jwazax EDN: JWAZAX

13. Жуйкова О. А., Шешегова Т. К., Баталова Г. А. Биоресурсы овса для использования в селекции на фитоиммунитет к грибным болезням в Кировской области. Российская сельскохозяйственная наука. 2021;(4):23–26. DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262721040050 EDN: CEOAML

14. Асеева Т. А., Зенкина К. В., Трифунтова И. Б., Имтосими О. Ю., Тишкова А. Г., Савченко Н. Е. Грибные болезни на зерновых культурах в муссонном климате Дальнего Востока. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(12):12–18. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11202 EDN: BRAAZD

15. Лукьянова О. В., Ступин А. С., Антошина О. А., Конкина В. С. Перспективы применения биопрепаратов в сельскохозяйственной практике. Международный сельскохозяйственный журнал. 2022;(5(389)):502–506. DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_5_502 EDN: VGEHUA

16. Коновалова И. В., Муругова Г. А., Клыков А. Г., Богдан П. М. Оценка сортообразцов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на устойчивость к фузариозу колоса и бурой листовой ржавчине в Приморском крае. Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2023;(3(229)):43–55. DOI: https://doi.org/10.37102/0869-7698_2023_229_03_5 EDN: ZIMKPM

17. Еремин Д. И., Еремина Д. В. Корончатая ржавчина овса: роль сорта, погоды и уровня минерального питания в условиях Западной Сибири. Аграрный вестник Урала. 2024;24(6):732–741. DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-732-741 EDN: XDIDZM

18. Соболева О. Н., Коновалова Г. С., Радченко Е. Е. Устойчивость местных ячменей из мировой коллекции ВИР к возбудителю ринхоспориоза. Защита и карантин растений. 2015;(10):17–18. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24260511 EDN: UKXFHT

19. Сочалова Л. П., Лихенко И. Е., Пономаренко В. И. Агробиологическая характеристика сортов и линий озимой мягкой пшеницы селекции СибНИИРС. Достижения науки и техники АПК. 2014;(4):32–35. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=21499273 EDN: SCMEPD

20. Баталова Г. А., Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Жуйкова О. А. Некоторые результаты селекции яровых зерновых на иммунитет в условиях Волго-Вятского региона России. Эколого-генетические основы селекции и возделывания сельскохозяйственных культур: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. и школы молодых ученых по эколого-генетическим основам растениеводства. Краснодар: Издательство "ЭДВИ", 2022. С. 4–7. DOI: https://doi.org/10.33775/conf-2022-4-7 EDN: VEPDXF

21. Жуйкова О. А., Баталова Г. А. Анализ адаптивности сортов и линий овса по элементам продуктивности в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6);949–957. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.949-957 EDN: SIRCSC

22. Глаз Н. В., Васильев А. А, Дергилева Т. Т., Удовицкий А. С., Тайков В. В., Мушинский А. А., Рутц А. В. Экологическая пластичность и стабильность сортов картофеля селекции Костанайского НИИСХ. Дальневосточный аграрный вестник. 2019;(2(50)):13–22. DOI: https://doi.org/10.24411/1999-6837-2019-12015 EDN: YWVZXT

References

1. Batalova G. A., Lisitsyn E. M., Shangzong R., Andreev N. R., Tulyakova M. V., Shevchenko S. N., Mal'ko A. M. Oats breeding in european north-east of Russia. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2016;30(1):21–24. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25651222

2. Sanin S. S., Karlova L. V., Koshcheev A. V., Korneva L. G. Economic and agro-ecological aspects of chemical control for cereals from pests. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2022;(5):3–12. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2022_5_3

3. Zhuchenko A. A. Adaptive crop production (ecological and genetic foundations), theory and practice. Vol. 3: Features of the implementation of the strategy of adaptive intensification of crop production in Russia. Moscow: *Agrorus*, 2009. 958 p. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01004347543

4. Ripberger E. I., Bome N. A., Trautz D. Variability of the height of plants of hybrid forms of spring common wheat (*Triticum aestivum* L.) under different ecological and geographical conditions. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2015;19(2):35–40. DOI: https://doi.org/10.18699/VJ15.023

5. Ionova E. V., Likhovidova V. A., Gaze V. L. The changes of adaptability and productivity of the winter bread wheat varieties in arid conditions according to the stages of variety changing. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2021;1(1):3–7. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-3-7

6. Sheshegova T. K., Shchekleina L. M. Phytopathogenic biota in the conditions of climate warming (review). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2022;(3):6–13. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-006-013

7. Gradoboeva T. P., Batalova G. A. The effect of environmental factors on oats resistance to loose smut. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2020;(3):72–76. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-72-76

8. Bakulina A. V., Novoselova N. V., Savintseva L. S., Batalova G. A. DNA markers in oat breeding for crown rust resistance (a review). *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022;183(1):224–235. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-224-235

9. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N. The structure of the gene pool of winter rye and current trends in its improvement. Gene pool and plant breeding: Proceedings of the IV International scientific and practical conference. Novosibirsk: *Federal'nyy issledovatel'skiy tsentr Institut tsitologii i genetiki Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk*, 2018. pp. 275–279. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=35206294

10. Vologzhanina E. N., Batalova G. A. Assessment of the adaptability of spring film oats in terms of yield and grain quality in the conditions of the Kirov region. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2023;(4):8–12. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262723040026

11. Vologzhanina E. N. Batalova G. A., Zhuravleva G. P. Fodder productivity of chaffy oats in the Volga-Vyatka region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020:34(4):36–40. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10407

12. Bebyakin V. M., Kulevatova T. B., Starichkova N. I. Methodical approaches, methods and estimation criteria of plant autoadaptivity. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya* = Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology. 2005;5(2):69–71. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=jwazax

13. Zhuykova O. A., Sheshegova T. K., Batalova G. A. Bioresources of oats for use in selection for phytoimmunity to mushroom diseases in Kirov region. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2021;(4):23–26. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262721040050

14. Aseeva T. A., Zenkina K. V., Trifuntova I. B., Imtosimi O. Yu., Tishkova A. G., Savchenko N. E. Fungal diseases on cereals in the monsoon climate of the Russian Far East. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(12):12–18. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11202

15. Lukyanova O. V., Stupin A. S., Antoshina O. A., Konkina V. S. Prospects for the use of biologics in agricultural practice. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2022;(5(389)):502–506. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_5_502

16. Konovalova I. V., Murugova G. A., Klykov A. G., Bogdan P. M. Evaluating accessions of soft wheat (*Triticum aestivum* L.) for resistance to fusarium ear blight and brow leaf rust in Primorsky territory. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* = Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences. 2023;(3(229)):43–55. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.37102/0869-7698_2023_229_03_5

17. Eremin D. I., Eremina D. V. Crown rust of oats: the role of variety, weather and the level of mineral nutrition in the conditions of Western Siberia. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2024;24(6):732–741. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-732-741

18. Soboleva O. N., Konovalova G. S., Radchenko E. E. Resistance of local barleys from the world VIR collection to the rhynchosporium pathogen. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2015;(10):17–18. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=24260511

19. Sochalova L. P., Likhenko I. E., Ponomarenko V. I. Agrobiological characteristics of varieties and lines of soft winter wheat of SIBRIGS selection. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2014;(4):32–35. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=21499273

20. Batalova G. A., Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Zhuykova O. A. Some results of spring grain breeding for immunity in the Volga-Vyatka region of Russia. Ecological and genetic foundations of breeding and cultivation of agricultural crops: Proceedings of international scientific and practical conference and school of young scientists on the ecological and genetic bases of crop production. Krasnodar: *Izdatel'stvo "EDVI"*, 2022. pp. 4–7.
DOI: https://doi.org/10.33775/conf-2022-4-7

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

22. Glaz N. V., Vasilyev A. A, Dergileva T. T., Udovitskiy A. S., Taykov V. V., Mushinskiy A. A., Rutts A. V. Environmental assessment of flexibility of the varieties of potato selected by Kostanay Research Institute of Agriculture. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2019;(2(50)):13–22. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24411/1999-6837-2019-12015

Сведения об авторах

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

✉ **Жуйкова Ольга Анатольевна,** кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией селекции овса, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3290-4827, e-mail: zhuikova_o@mail.ru

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

Information about the authors

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

✉ **Olga A. Zhuykova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Oat Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenin Str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3290-4827**,
e-mail: zhuikova_o@mail.ru

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

✉ – Для контактов / Corresponding author

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ / AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.595–607
УДК 579.87

(cc) BY

Отбор стрептомицетов-хитинолитиков для биоконтроля грибных фитопатогенов

© 2025. И. Г. Широких✉, Н. А. Боков, А. В. Бакулина, Е. А. Бессолицына
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Интерес к хитинолитически активным микроорганизмам связан с возможностью их участия в защите растений от поражения грибными инфекциями, поскольку хитин является структурным компонентом клеточных стенок грибов. Среди бактерий к наиболее активным хитинолитикам относят представителей рода Streptomyces. Применение стрептомицетов в борьбе с вредоносными фитопатогенами сельскохозяйственных культур обусловлено способностью синтезировать широкий спектр биологически активных соединений, а также экологической безопасностью, т. к. стрептомицеты – естественный компонент любого агроценоза. В работе изучали распространение стрептомицетов-хитинолитиков среди природных изолятов из почв Вятско-Камского Предуралья. Скрининг хитинолитически активных культур осуществляли с помощью функциональных (фенотипических) и генетических предикторов. Оценка функциональной активности показала, что доля активно разлагающих хитин штаммов с энзиматическим индексом EI ≥ 2 составила в исследуемых почвах около 40 %. Наиболее активно разлагали хитин штаммы видов S. griseoaurantiacus и S. thermocarboxydus. Генетические детерминанты хитинолиза – гены хитиназы A, хитиназы C и хитинсвязывающих белков определяли в геномах природных изолятов с помощью ПЦР с использованием разработанных специфических праймеров. Установлено, что отдельные генетические детерминанты хитинолиза (chiA, chiC, chb) распространены у стрептомицетов гораздо шире, чем хитинолиз, выявленный в функциональных тестах. Это связано с индуцибельным характером фермента хитиназы и зависимостью его активности от факторов экзогенной природы. Хитинолиз местных изолятов сравнивали с активностью штаммов, выделенных из почвы аридной зоны. На 7-е сутки роста местных изолятов в погруженной культуре активность хитиназы изменялась от 15,83±12,01 до 50,63±38,81 Ед/мл, тогда как у штамма, выделенного из аридной почвы, активность фермента в этот же срок составила 76,46±42,12 Ед/мл. Оценка антифунгального действия стрептомицетов-хитинолитиков в отношении возбудителей альтернариоза, гельминтоспориозных и фузариозных корневых гнилей зерновых культур, выявила штаммы, перспективные для использования в агробиотехнологиях.

Ключевые слова: *Streptomyces*, *активность хитиназы, фитопатогенные грибы, продукция антибиотиков, природоподобные технологии*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (темы № FNWE-2025-0005; № FNWE-2025-0001).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Широких И. Г., Боков Н. А., Бакулина А. В., Бессолицына Е. А. Отбор стрептомицетов-хитинолитиков для биоконтроля грибных фитопатогенов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):595–607. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.595-607

Поступила: 29.04.2025 Принята к публикации: 11.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Selection of streptomyces chitinolytics for biocontrol of fungal phytopathogens

© 2025. Irina G. Shirokikh✉, Nikita A. Bokov, Anna V. Bakulina, Ekaterina A. Bessolitsyna

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

Interest in chitinolytically active microorganisms is related to the possibility of their participation in protecting plants from fungal infections, since chitin is a structural component of fungal cell walls. Among the bacteria, the most active chitinolytics include representatives of the genus Streptomyces. The use of streptomyces in the fight against harmful phytopathogens of agricultural crops is due to the ability to synthesize a wide range of biologically active compounds, as well as environmental safety, since streptomyces are a natural component of any agrocenosis. The paper studied the distribution of streptomyces chitinolytics among natural isolates from the soils of the Vyatka-Kama Urals. Chitinolytically active cultures were screened using functional (phenotypic) and genetic predictors. The assessment of functional activity showed that the proportion of chitin-actively decomposing strains with an enzymatic index of EI≥2 was about 40 % in the studied soils. Strains of S. griseoaurantiacus and S. thermocarboxydus species decomposed chitin most actively. The genetic determinants of chitinolysis – the genes of chitinase A, chitinase C, and chitin-binding proteins – were determined in the genomes of natural isolates using PCR using specially developed specific primers. It has been established that individual genetic determinants of chitinolysis (chiA, chiC, chb) are much more widespread in streptomyces than chitinolysis detected in functional tests. This is due to the inducible nature of the chitinase enzyme and the dependence of its activity on exogenous factors. Chitinolysis of local isolates was compared with the activity of strains isolated from the soil of the arid zone. On the 7th day of growth of local isolates in the immersed culture, chitinase activity varied from 15.83±12.01 to 50.63±38.81 U/ml, whereas in the strain isolated from arid soil, the enzyme activity in the same period was 76.46±42.12 U/ml. Evaluation of the antifungal effect of streptomyces chitinolytics against pathogens of alternariasis, helminthosporiosis and fusarium root rot of grain crops revealed local strains promising for use in agrobiotechnology.

Keywords: *Streptomyces, chitinase activity, phytopathogenic fungi, antibiotic production, nature-like technologies*

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 Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2025-0005, FNWE-2025-0001).

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

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

For citation: Shirokikh I. G., Bokov N. A., Bakulina A. V., Bessolitsyna E. A. Selection of streptomyces chitinolytics for biocontrol of fungal phytopathogens. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):595–607. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.595-607

Received: 29.04.2025 Accepted for publication: 11.06.2025 Published online: 30.06.2025

Азотсодержащий линейный полимер хитин состоит из β-1,4-N-ацетилглюкозамина и является по распространенности вторым после целлюлозы биополимером на Земле [1, 2]. В почвах хитин встречается в составе наружного скелета членистоногих, во внешних покровах некоторых водорослей, особенно много хитина в составе клеточной стенки грибного мицелия.

Разложение хитина осуществляют хитиназы – обширная и разнообразная группа ферментов, различающихся по молекулярной структуре, субстратной специфичности и механизму каталитического действия [3, 4]. Хитиназы относятся к группе О-гликозидных гидролаз (гликозидаз– GH), которые катализируют процесс расщепления хитина с образованием олигосахаридов разной длины (хитобиоз, -триоз, -пентоз и -гексоз).

Среди прокариот одними из лучших деструкторов хитина являются актиномицеты рода *Streptomyces* [5]. Способность стрептомицетов к хитинолизу связана с высоким (22–44 %) содержанием хитина в клеточной стенке микромицетов, с которыми у актиномицетов совпадают экологические функции и, отчасти, жизненные стратегии, порождая между этими группами мицелиальных микроорганизмов конкурентные взаимоотношения и антагонизм [6, 7]. Способностью продуцировать экзохитиназы и вторичные метаболиты с антибиотическим действием обусловлено влияние актиномицетов на плотность популяций фитопатогенных грибов и бактерий [8, 9]. Хитиназы из *Streptomyces* не только лизируют клеточную стенку грибов, но обладают и другими противогрибными свойствами, такими как ингибирование прорастания спор, удлинение зародышевых трубок, разрушение спор. В связи с этим стрептомицеты-хитинолитики представляют значительный интерес в качестве агентов биоконтроля фитопатогенов сельскохозяйственных растений [10] и дереворазрушающих грибов [11].

Стрептомицеты присутствуют в большинстве почв в значительном количестве, составляя около трети всех культивируемых на питательных средах прокариот. Представленность стрептомицетов особенно увеличивается в почвах аридных, не слишком кислых, а также богатых органическими веществами [12]. В таких местообитаниях количество стрептомицетов может превышать общее количество всех остальных бактерий [13].

Антифунгальная активность продуцируемых стрептомицетами хитиназ чаще других отмечается у изолятов из почв аридных регионов. Так, хитиназы семи различных видов *Streptomyces* (*S. albus, S. aureofaciens, S. flavogriseus, S. fumosus, S. rimosus, S. riseoflavus* и *S. spiralis*), выделенных из почвы высокотравной саванны Нигерии, подавляли рост фитопатогенных грибов *Magnaporthe oryzae* B.C.Couch, *Fusarium graminearum* Schwabe, *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, *Puccinia* sp. Pers. и *Botyrtis cinerea* Pers. [14]. Штамм-хитинолитик *Streptomyces griseorubens* E44G, изолированный из почвы Саудовской Аравии, контролировал симптомы фузариозного вилта у томата [15]. Препарат на основе талька с хитинолитическим штаммом *S. cellulosae* Actino48 в полевых условиях проявил эффективность в борьбе с грибом *Sclerotium rolfsii* Sacc., вызывающим увядание и корневую гниль арахиса в Египте [16]. Информация о хитинолизе у стрептомицетов в почвах умеренной природно-климатической зоны в литературе ограничена. Так, сообщалось о выделении четырех хитинолитически активных культур стрептомицетов с противомикробным действием (*S. xiamenensis* TB ВКПМ Ac-2204, *S. anulatus* TG ВКПМ Ac-2203, *S. sindenensis* TK ВКПМ Ac-2205, *S. flavovirens* TT ВКПМ AC-2202) из почв разных районов Башкортостана [5]. Среди 120 актиномицетных изолятов из торфяных почв болотных экосистем Тверской и Томской областей хитинолитическая активность выявлена у 26 % штаммов, большинство из которых были идентифицированы как представители рода *Streptomyces* [17].

Цель работы – изучить распространение среди природных изолятов из почв Вятско-Камского Предуралья бактерий рода *Streptomyces* с хитинолитической активностью для использования в агробиотехнологиях.

Научная новизна – в работе с использованием методов фенотипического и генетического анализов впервые определена долевая представленность способных к хитинолизу стрептомицетов в зональных почвах северо-востока Восточно-Европейской равнины. Количественно измерена активность хитиназы у 10 природных изолятов рода *Streptomyces*. У изолятов с активностью фермента на уровне 17,3–50,6 Ед/мл определено антифунгальное действие. Отобраны перспективные культуры стрептомицетов для технологической реализации их потенциала в защите растений от фитопатогенных грибов.

Материалы и методы. Исследования проводили с чистыми культурами мицелиальных бактерий, выделенных из почв гумидной зоны: дерново-подзолистой, подзолистой, торфяной и серой лесной. Для сравнения использовали два штамма бактерий, выделенных из почвы аридной зоны – грумусоли. По комплексу культуральных, морфологических и, в некоторых случаях, генетических свойств (последовательностей фрагмента гена 16S рРНК) все исследуемые культуры отнесены к роду *Streptomyces*.

Для выявления хитинолитической способности природные изоляты стрептомицетов культивировали в течение 30 сут при 28 °C на плотной питательной среде, содержащей (г/л): $NaNO_3$ – 2,0; KH_2PO_4 – 1,0; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,5; KCl – 0,5; агар – 20,0; коллоидный хитин – 10,0 (pH – 5,6) [18]. Коллоидный хитин получали в соответствии с методикой, описанной в работе [19]. Для этого навеску 5,0 г мелко размолотого хитина растворяли в 50 мл концентрированной соляной кислоты и инкубировали при комнатной температуре в течение 30 мин при постоянном помешивании. Полученный раствор постепенно вливали в 1 л дистиллированной воды, перемешивая суспензию на магнитной мешалке в течение 25 минут, после чего суспензию фильтровали через бумажный фильтр. Полученный осадок трижды промывали дистиллированной водой до значения pH = 6,0, суспензию хранили в виде жидкого осадка. Питательную среду с коллоидным хитином стерилизовали автоклавированием при 1 ати в течение 25 мин.

Культуры высевали на плотную питательную среду методом укола. По окончании времени культивирования измеряли диаметры колонии и зоны гидролиза хитина, рассчитывали энзиматический индекс (EI) по следующей формуле:

$$EI = \frac{(D + d)}{D},$$

где D – диаметр колонии, мм, d – диаметр зоны гидролиза, мм.

Для количественного определения активности хитиназы культуры стрептомицетов выращивали в погруженной культуре, используя жидкую среду следующего состава (г/л): Na_2HPO_4 – 0,65; KH_2PO_4 – 1,5; NaCl – 0,25; NH_4Cl – 0,5; $MgSO_4$ – 0,12; $CaCl_2$ – 0,005; коллоидный хитин – 10,0; pH 7,0 [20]. Штаммы продуцентов культивировали стационарно – в колбах с 50 мл питательной среды в течение 7 сут при 28 °С. Биомассу отделяли от культуральной жидкости путем центрифугирования при 6000 об./мин в течение 10 мин. Хитиназную активность определяли в супернатанте с использованием метода на основе динитросалициловой кислоты (ДНС) [21]. Субстратом для измерения активности фермента служил 1,0%-ный коллоидный хитин. Реакционная смесь содержала 1 мл супернатанта исследуемой культуры и 1 мл 1,0%-го коллоидного хитина. Реакцию гидролиза проводили при 50 °С в течение 10 мин. Измерение оптической плотности проводили спектрофотометрически при 540 нм. За единицу активности принимали количество фермента, катализирующее гидролиз хитина с образованием 1 мкмоля восстанавливающих сахаров за 10 мин.

Антифунгальное действие исследуемых культур стрептомицетов определяли методом агаровых блоков по диаметру зоны ингибирования роста грибных тест-культур *Alternaria* sp. Nees, *Bipolaris sorokiniana* Shoemaker, *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. oxysporum* Schltdl., *F. proliferatum* Matsush., *F. culmorum* (Wm.G. Sm.) Sacc. из рабочей коллекции микроорганизмов лаборатории биотехнологии растений и микроорганизмов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Зоны подавления роста тест-микроорганизмов измеряли через 48 час вручную с точностью ±1 мм. Каждый тест проводили в трехкратной повторности.

Для проведения молекулярно-генетического анализа стрептомицетов суммарные нуклеиновые кислоты выделяли согласно [22] из культур, выращенных в жидкой среде Гаузе 1. Для выявления у стрептомицетов генов хитиназы А (*chiA*), хитиназы С (*chiC*) и хитинсвязывающих белков (*chb1*, *chb2*) использовали разработанные нами праймеры (табл. 1).

Таблица 1 – **Праймеры, использованные для ПЦР-анализа стрептомицетов** /
Table 1 – **Primers used for PCR analysis of streptomyces**

Мишень / Target	*Праймер / Primer*	*Последовательность праймера, 5′-3′ / Primer sequence, 5′-3′*	*Ампликон, п. н. / Amplicon, b. p.*
Хитиназы *(chiA, chiC)* / Chitinases	Chit_1F Chit_1R	CCAGCC(G/C)CTGCGCGGCAACTTCAACC	600
		CAGCCGCG(C/G)CCGTAGAAGCCGATGC	
	ChitCF2 ChitCR2	CTACTTCACCAACTGGGGCGT(C/G)TACG	244
		CAGCTTGCG(G/C)AGCTGGTTGAAGTTGC	
Хитинсвязывающие белки (*chb*) / Chitin-binding proteins	ChitBPF ChitBPR	GGGAGCCGCAGAGCGT(G/C)GAGGGC	300
		GTAGGGCAC(G/C)GTCAGGAACGGGGTG	

Пара праймеров ChitBPF/ ChitBPR позволяла выявлять гены *chb1* и *chb2* гомологичных хитинсвязывающих белков. Все праймеры были синтезированы в НПК «Синтол» (Россия).

ПЦР проводили на программируемом термостате ТП4-ПЦР-01 «Терцик» («НПО ДНК-Технология», Россия). Реакционная смесь (10 мкл) содержала 10 нг ДНК, 200 мкМ dNTPs, 10 рМ каждого праймера, 1,5 мМ MCl_2 1 х PCR буфер, 3,75 ед. Taq-полимеразы («СибЭнзайм», Россия). Режим ПЦР: 1 цикл 94 °С – 5 мин; 35 циклов 94 °С – 30 сек, 67 ºС (для праймеров Chit1F/ Chit1R) или 72 °С (для пар ChitBPF/ChitBPR, ChitCF/ChitCR) – 30 сек, 72 °С – 1 мин 30 сек; конечная элонгация 72 °С – 10 мин.

Продукты амплификации, разделяли электрофорезом в 1,5%-ном агарозном (Chit1F/ Chit1R) и 7%-ном полиакриламидном (ChitBPF/ ChitBPR, ChitCF/ChitCR) гелях, после чего их окрашивали бромистым этидием [22]. Для определения длины полученных ампликонов использовали ДНК-маркеры молекулярного веса 100 bp и 100bp+2Kb+3Kb («СибЭнзайм», Россия). Визуализацию результатов электрофореза проводили с помощью трансиллюминатора «Квант-312» («Helicon», Россия). Документация

результатов электрофореза выполнена с помощью видеосистемы «Взгляд» и ПО «IC Measure».

Для оценки специфичности праймеров ПЦР-продукты, полученные при амплификации с каждой парой праймеров, подвергали секвенированию. Секвенирование по Сэнгеру выполнено в НПК «Синтол» (г. Москва). Биоинформатический анализ полученных последовательностей проводили автоматически с использованием сервиса BLAST на портале NCBI.

Статистическую обработку результатов исследования осуществляли определением стандартных отклонений от средних арифметических значений. Повторность опытов трехкратная, уровень значимости равен 0,05.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследования изучали способность 30 штаммов стрептомицетов к росту на агаризованной среде с хитином в качестве единственного источника углерода. При посеве тестируемых культур уколом вокруг колоний хитинолитиков образовывались зоны просветления, указывающие на их способность гидролизовать хитин. Микроскопический анализ подтвердил разрушение хитина в местах развития стрептомицетного мицелия (рис. 1).

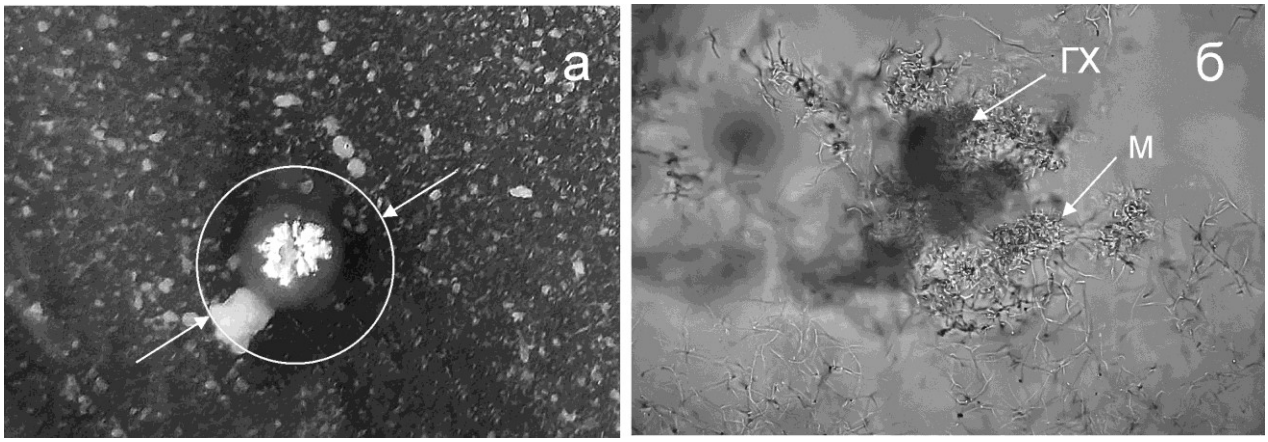


Рис. 1. **Образование зоны просветления вокруг *Streptomyces* sp. 4ls18 на среде с хитином (а); микроскопическая картина: рост мицелия *Streptomyces* sp. 4ls18 на среде с хитином: М – субстратный и воздушный бактериальный мицелий; ГХ – гидролизуемый хитин (б) /**

Fig. 1. **The formation of enlightenment area around *Streptomyces* sp. 4ls18 on the environment with chitin (a); microscopic appearance: growth of mycelium *Streptomyces* sp. 4ls18 on the environment with chitin: M – substrate and aerial bacterial mycelium; ГХ – hydrolysable chitin (б)**

Как видно из данных, представленных в таблице 2, большинство почвенных и ризосферных штаммов стрептомицетов не проявили хитинолитической способности.

Способность расти на агаризованной среде с хитином проявили менее половины (43,3 %) исследованных культур. Наиболее интенсивным ростом колоний отличались штаммы *Streptomyces* sp. П 11-10 (30 мм), *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2 (20 мм), *S. alfalfae* 6Из-12 (10 мм) и *S. thermocarboxydus* Т1-3 (8 мм), выделенные соответственно из дерново-подзолистой и подзолистой почв, грумусоли и торфяника. Для трех из них (П 11-10, Мб 4-2 и Т1-3) диаметры колоний и формируемых ими зон хитинолиза различались по величине незначительно. Для этой группы штаммов значения EI изменялись в узких пределах и составили в среднем 2,3±0,28.

Штаммы, изолированные из ризосферы левзеи сафлоровидной *Streptomyces* sp. 2ls9 и 4ls18, табака *S. antimycoticus* 8Al3, томата *S. flavogriseus* ТК-5, овса *S. antimycoticus* А4, а также изоляты из аридных почв *S. alfalfae* 6Из-12 и *S. flavogriseus* 3Из-7, в отличие от почвенных изолятов первой группы, формировали на агаризованной среде с хитином довольно значительные по диаметру (по сравнению с величиной колонии) зоны хитинолиза (от 3 до 18 мм). Соответственно значения EI для культур второй группы (в среднем 8,0±5,37) с преобладанием ризосферных штаммов более чем в три раза превосходили значения EI, рассчитанные для культур стрептомицетов из гумидных почв. Однако у двух изолятов из ризосферы табака (*Streptomyces* sp. К 8-16 и К 8-14) величина колоний практически совпадала с величиной зон хитинолиза, в результате чего для них значения EI были ближе к значениям, характерным для почвенных изолятов.

Таблица 2 – **Результаты скрининга штаммов с хитиназной активностью среди изолятов стрептомицетов из разных источников** /
Table 2 – **Results of screening of strains with chitinase activity among streptomyces isolates from various sources**

Источник выделения / Source of isolation		*Вид, штамм / Species, strain*	*Диаметры, мм / Diameters, mm*		*Значения EI / Value of EI*
почва, географический регион / soil, geographic region	*субстрат / substrate*		*зоны хитинолиза / chitinolysis zone*	*колонии / colony*	
Дерново-подзолистая, Пермский край / Sod-podzolic, Perm Krai	Ризосфера левзеи сафлоровидной / Rhizosphere of leucea safflower	*Streptomyces* sp. 2ls9	18	1	19,0
		Streptomyces sp. 4ls18	3	1	4,0
		Streptomyces sp. 4ls6	10	5	3,0
		Streptomyces sp. 4ls8	0	0	0
		Streptomyces sp. 4ls3	0	0	0
		Streptomyces sp. 4ls1	0	0	0
		Streptomyces sp. 4ls2	0	0	0
		Streptomyces sp. 2ls4	0	0	0
		Streptomyces sp. 4ls7	0	0	0
		Streptomyces sp. 2ls6	0	0	0
		Streptomyces sp. 2ls11	0	0	0
		Streptomyces sp. 2ls7	0	0	0
		Streptomyces sp. 4ls21	0	0	0
		Streptomyces sp. 4ls16	0	0	0
		Streptomyces sp. 4ls3	0	0	0
	Почва / Soil	*Streptomyces* sp. П 11-10	32	30	2,07
Дерново-подзолистая, г. Киров / Sod-podzolic, Kirov	Ризосфера табака / Rhizosphere of tobacco	*Streptomyces* sp. Т 2-20	0	0	0
		Streptomyces sp. Т 2-25	0	0	0
		Streptomyces antimycoticus 8Al3	10	1	11,0
		Streptomyces sp. К 8-16	3	3	2,0
		Streptomyces sp. К 8-14	4	4	2,0
		Streptomyces sp. К 8-4	0	0	0
	Ризосфера томата / Rhizosphere of tomato	*Streptomyces flavogriseus* ТК-5	10	1	11,0
	Ризосфера овса / Rhizosphere of oat	*Streptomyces castelarensis* А4	5	1	6,0
Подзол песчаный, Кировская обл. / Podzol sandy, Kirov region	Почва / Soil	*Streptomyces griseoaurantiacus* Мб4-2	25	20	2,25
Низинный торфяник, Кировская обл. / Lowland peat bog, Kirov region	Почва / Soil	*Streptomyces thermocarboxydus* Т1-3	13	8	2,63
Серая лесная, Нижний Новгород / Gray forest soil, Nizhny Novgorod	Почва / Soil	*Streptomyces ryensis* Н13-3	0	0	0
		Streptomyces hygroscopicus Н27-25	0	0	0
Грумусоль, Израиль / Grumusoli, Israel	Почва / Soil	*Streptomyces alfalfae* 6Из-12	32	10	4,2
		Streptomyces flavogriseus 3Из-7	5	1	6,0

В целом результаты качественного тестирования на хитиназную активность выявили довольно ограниченное распространение продуцентов хитиназ среди природных изолятов стрептомицетов, полученных из разных субстратов и географических районов Вятско-Камского Предуралья, тогда как оба изолята из грумусоли аридной зоны (*S. alfalfae* 6Из-12 и *S. flavogriseus* 3Из-7) продемонстрировали способность к разрушению хитина. Для пред-

ставителей видов *S. alfalfae* и *S. flavogriseus,* а также *S. thermocarboxydus*, к которому отнесен штамм Т1-3, хитиназная активность ранее уже отмечалась в литературе [23, 14]. Что касается других проявивших ферментативную активность штаммов, отнесенных соответственно к видам *S. antimycoticus* (8Al3, А4) и *S. griseoaurantiacus* (Мб4-2), способность к хитинолизу, возможно, выявлена у них впервые.

Определение активности хитиназы в погруженных культурах ряда изолятов, выделившихся при первичном скрининге значительными зонами разрушения хитина, по количеству редуцирующих сахаров в тесте с ДНС-реагентом показало, что активность фермента зависит как от штамма стрептомицета, так и продолжительности его культивирования (рис. 2).

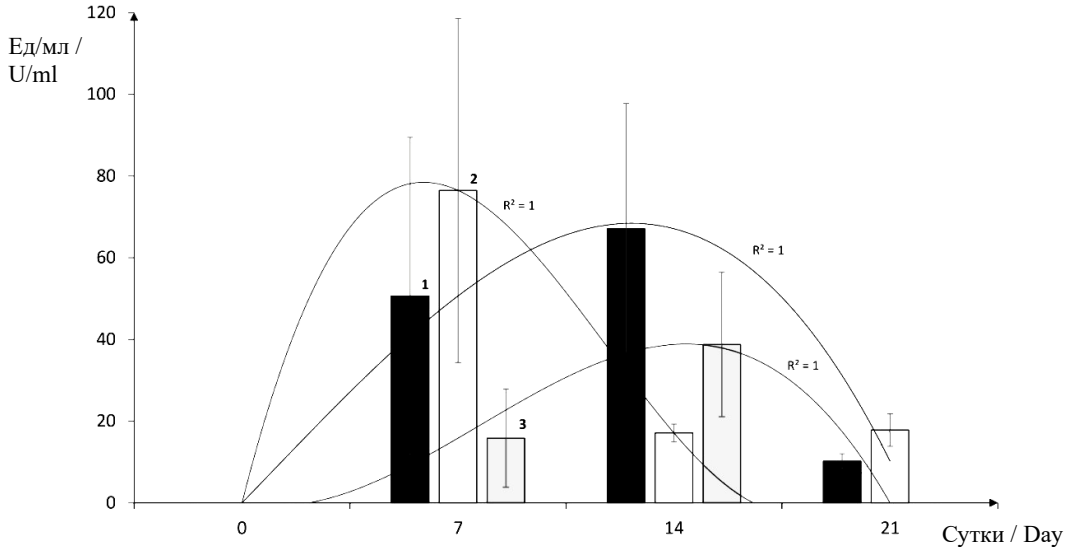


Рис. 2. **Динамика активности хитиназы у штаммов *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2 (1), *S. alfalfae* 6Из-12 (2) и *S. thermocarboxydus* Т1-3 (3) /**

Fig. 2. **Dynamics of chitinases activity in strains: *S. griseoaurantiacus* Mb 4-2 (1), *S. alfalfae* 6Из-12 (2), *S. thermocarboxydus* T1-3 (3)**

Так, среди изолятов из разных типов почв, наибольшей активностью хитиназы отличался штамм из почвы аридной зоны – грумусоли *S. alfalfae* 6Из-12, достигший пика активности уже на 7-е сутки (76,46±42,12 Ед/мл) роста. Несущественно ему уступал выделенный из подзола штамм *S. griseoaurantiacus* Мб4-2 (67,08±30,65 Ед/мл), но его пик активности зафиксирован на неделю позже – на 14-е сутки, как и у изолята из торфяника *S. thermocarboxydus* Т1-3, максимальная хитиназная активность которого не превышала 38,75±17,68 Ед/мл и через три недели от начала культивирования уже не обнаруживалась. Кривые, апроксимирующие динамику хитиназной активности каждого из штаммов, имеют различный характер, что подтверждает зависимость активности хитиназы от биологических свойств штамма и длительности его выращивания в погруженной культуре. У других штаммов активность хитиназы, измеренная на 7-е сутки погруженного роста в среде с хитином, изменялась от 17,29±4,02 Ед/мл (штамм 8Al3) до 26,46±15,69 и 27,29±10,97 Ед/мл соответственно у штаммов П11-10 и ТК-5 и до 45,42±15,36 Ед/мл у штамма А4. Изоляты из ризосферы левзеи сафлоровидной *Streptomyces* sp. 2ls9 и 4ls6, проявившие способность к хитинолизу при первичном скрининге на плотной среде, в погруженной культуре ферментативную активность в указанный период роста не продемонстрировали. Известно, что синтез хитиназ в большинстве случаев носит индуцибельный характер – инициируется специфическим субстратом и определяется, в значительной степени, экзогенными факторами [4].

Генетический механизм хитинолиза у бактерий кодируют ряд гликозилгидролаз и углеводсвязывающих белков [4]. Гены хитиназ очень разнообразны, и отдельные ферменты могут кодироваться несколькими генами. Среди представителей рода *Streptomyces* наиболее исследованы хитиназы вида *Streptomyces coelicolor* A3(2). Его геном состоит из 13 генов, кодирующих различные ферменты-хитиназы, из которых хорошо изучены шесть генов: *chiA* (1716 п. н.), *chiB* (1833 п. н.), *chiC* (1830 п. н.), *chiD* (1254 п. н.), *chiF* (891 п. н.) и *chiG* (735 п. н.).

Из этих шести генов *chiF* и *chiG* кодируют хитиназы семейства GH19, а остальные четыре – хитиназы семейства GH18 [24].

В качестве генетических предикторов хитиназной активности стрептомицетов использовали гены хитиназы А (*chiA*), хитиназы С (*chiC*) и хитинсвязывающих белков (*chb1*, *chb2)*, которые относят к литическим полисахарид монооксигеназам [25]. Эффекты хитинсвязывающих белков (CBPs) обусловлены не только связыванием с хитином [26], но и способностью разрушать хитин посредством окислительного механизма, например, в клеточных стенках грибов [27].

Рисунок 3 на примере восьми различных штаммов исследуемой выборки дает представление о целевых ампликонах, полученных с использованием трёх разработанных специфических пар-праймеров.

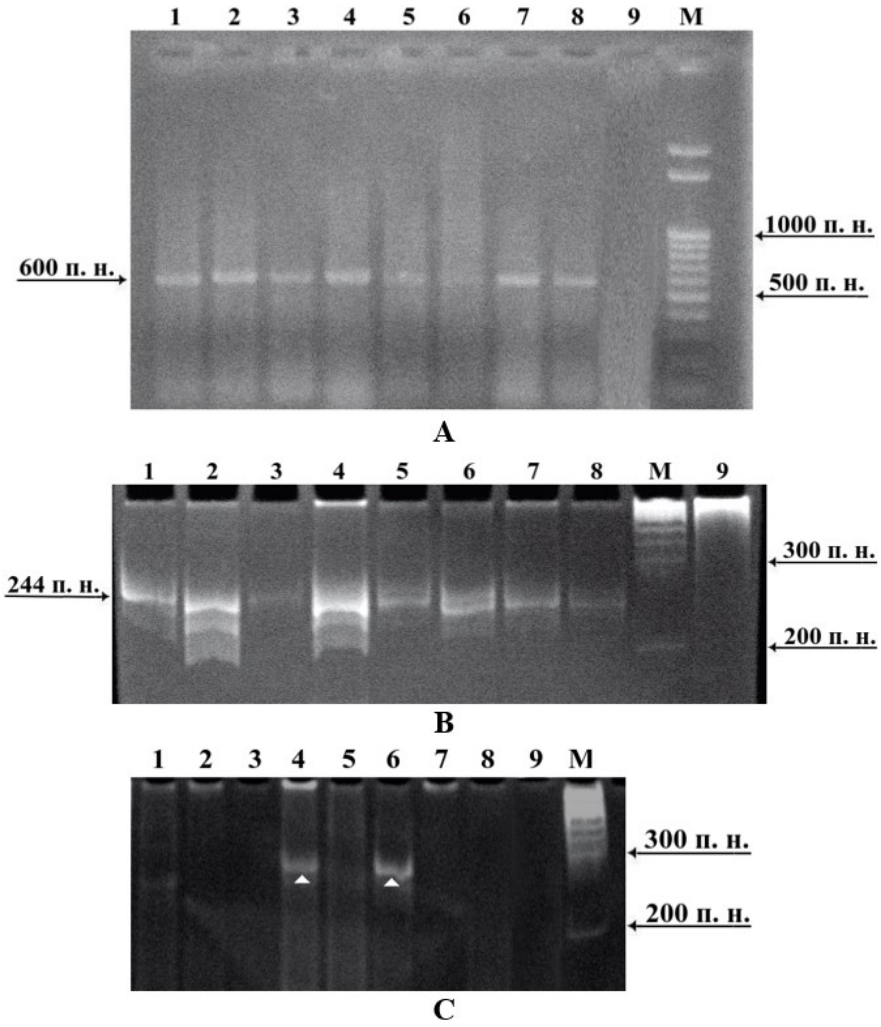


Рис. 3. **Электрофореграммы продуктов амплификации фрагментов генов хитиназ с праймерами Chit1F/Chit1R (A), ChitCF/ChitCR (B) и хитинсвязывающего белка (C) у некоторых штаммов стрептомицетов (фрагмент данных).** Дорожки: 1–8 соответствуют ДНК штаммов *Streptomyces* spp. К8-9, П11-10, П13-4, П13-9, П13-15, П13-16, П14-8, П15-2; 9 – отрицательный контроль (вода); М – маркер молекулярной массы /

Fig. 3. **Electrophorograms of amplification products of chitinase gene fragments with primers Chit1F/Chit1R (A), ChitCF/ChitCR (B) and chitin binding protein (C) in some streptomyces strains (piece of data).** Tracks: 1–8 correspond to the DNA of *Streptomyces* spp. strains K8-9, P11-10, P13-4, P13-9, P13-15, P13-16, P14-8, P15-2; 9 – negative control (water); M is a molecular weight marker

Для проверки идентичности полученных в ходе амплификации ПЦР-продуктов генам хитиназ и CBPs стрептомицетов проводили выборочное секвенирование по Сэнгеру. Биоинформатическая обработка результатов с помощью сервиса BLAST показала высокое сходство (98-99 %) полученных нуклеотидных последовательностей с последовательностями полных геномов *Streptomyces* spp. Высокой гомологией (96,7 %) с последовательностью гена хитиназы С вида *S. coelicolor*, представленной в GenBank под номером AB017010.1, отличался ПЦР-про-

дукт штамма *Streptomyces* sp. П11-10, показавшего один из лучших результатов при фенотипическом скрининге хитинолитиков (табл. 2). Высокий (93,2 %) процент сходства с последовательностью гена хитиназы GH18 вида *S. griseobrunneus* (регистрационный номер AY641546.1 в GenBank) установлен для ПЦР-продукта штамма Н16-6 из серой лесной почвы. Последовательность ампликона, полученного для изолята *S. thermo-carboxydus* Т1-3 с невысокой хитинолитической активностью (изолят из торфяника), была на 86,0 % гомологична последовательности гена хитинсвязывающего белка *S. reticuli* (регистрационный номер Y14315.1 в GenBank). Полученные результаты указывают на достаточно высокий уровень специфичности разработанных нами праймеров, позволяющих выявлять в геномах стрептомицетов гены, кодирующие синтез хитиназ, относимых по международной классификации ферментов к семейству GH18, и хитинсвязывающих белков.

В результате ПЦР-скрининга 48 культур стрептомицетов на наличие в их геномах указанных предикторов хитинолиза были выявлены штаммы с различным сочетанием генов *chiA, chiC* и *chb.* Наличие этих генов в геномах 30 почвенных и ризосферных изолятов, ранее подвергнутых тестированию на способность к разрушению хитина, представлено в таблице 3.

Таблица 3 – **Результаты ПЦР-анализа исследуемых штаммов стрептомицетов /**
Table 3 – **Results of PCR analysis of the studied streptomyces strains**

Штамм / Strain	*chiA*	*chiC*	*chb*
Streptomyces sp. 2ls9	0	0	0
Streptomyces sp. 4ls18	0	0	0
Streptomyces sp. 4ls6	1	1	0
Streptomyces sp. 4ls8	1	1	0
Streptomyces sp. 4ls3	0	1	0
Streptomyces sp. 4ls1	1	1	0
Streptomyces sp. 4ls2	1	1	1
Streptomyces sp. 2ls4	1	1	0
Streptomyces sp. 4ls7	1	1	0
Streptomyces sp. 2ls6	1	1	0
Streptomyces sp. 2ls11	1	1	1
Streptomyces sp. 2ls7	1	1	1
Streptomyces sp. 4ls21	1	1	1
Streptomyces sp. 4ls16	0	1	0
Streptomyces sp. 4ls3	1	1	0
Streptomyces sp. Т 2-20	1	1	0
Streptomyces sp. Т 2-25	1	1	0
Streptomyces antimycoticus 8Al3	0	0	0
Streptomyces sp. К 8-16	0	1	0
Streptomyces sp. К 8-14	1	1	0
Streptomyces sp. К 8-4	1	1	1
Streptomyces castelarensis А4	1	0	0
Streptomyces flavogriseus ТК-5	1	1	0
Streptomyces sp. П11-10	1	1	0
Streptomyces griseoaurantiacus М64-2	1	1	0
Streptomyces thermocarboxydus Т1-3	1	1	1
Streptomyces ryensis Н13-3	1	1	1
Streptomyces hygroscopicus Н27-25	1	1	1
Streptomyces alfalfae 6Из-12	1	1	0
Streptomyces flavogriseus 3Из-7	0	1	0

Примечание: 0 – не выявлен целевой фрагмент; 1 – обнаружен целевой ампликон /
Note: 0 – no target fragment detected; 1 – target amplicon detected

При сопоставлении результатов ПЦР-диагностики генов, детерминирующих хитинолиз, с данными первичного скрининга активных штаммов (табл. 2) и количественной оценки активности фермента в погруженных культурах стрептомицетов (рис. 2), установлено присутствие кодирующих последовательностей хитиназ А и С в геномах наиболее активных штаммов-хитинолитиков 6Из-12 и Мб4-2, а в геноме *S. thermocarboxydus* Т1-3, наряду с ними – и хитинсвязывающего белка. Однако четких соответствий между используемыми в работе генетическими и фенотипическими предикторами хитинолиза не установлено. Так, ПЦР-анализ у одних хитинолитически активных культур (4ls6, П11-10) выявил наличие генов *chiA* и *chiC*, у других (2ls9, 4ls18) – не обнаружил. Несмотря на одновременное присутствие всех трех детерминант хитинолиза в геномах ризосферных штаммов 4ls2, 4ls21, 2ls7 и 2ls11, почвенных изолятов Н13-3 и Н27-25 (табл. 3), способность к разложению хитина при первичном скрининге ни у одного из них не была выявлена (табл. 2). Причины этих несоответствий могут быть связаны с иными, не использованными в данной работе, генетическими детерминантами хитинолиза, а также обусловлены сложностью механизма управления экспрессией генов, кодирующих синтез хитиназ.

Наиболее распространенной детерминантой хитинолиза в популяциях стрептомицетов оказался ген хитиназы С, встречаемость которого изменялась в среднем от 87 % у ризосферных изолятов до 94,7 % у изолятов из почв разных типов (табл. 4). Реже встречался в геномах исследуемых стрептомицетов ген хитиназы А (67,7–78,9 %). Еще меньшей встречаемостью характеризовались гены *chb,* выявленные в среднем у 25,8 % ризосферных изолятов и у 42,1 % культур, выделенных из почв. В геномах приблизительно пятой части (19,3–21,0 %) исследуемых штаммов установлено наличие всех трех генетических детерминант хитинолиза, определяемых в работе. Причем их одновременное присутствие отмечено чаще в геномах культур, выделенных из ризосферы левзеи сафлоровидной на дерново-подзолистой почве Пермского края (27,7 %) и в серой лесной почве Нижегородской области (25,0 %).

Таблица 4 – **Доля стрептомицетов, несущих генетические детерминанты хитинолиза, в различных субстратах, %** /
Table 4 – **The proportion of streptomyces carrying genetic determinants of chitinolysis in various substrates, %**

Источник выделения (количество изолятов) / Source of isolation (number of isolates)	*Детерминанты хитинолиза / Determinants of chitinolysis*			*Одновременное присутствие всех детерминант / Simultaneous presence of all determinants*
	chiA	*chiC*	*chb*	
Ризосфера левзеи сафлоровидной / Rhizosphere Leucea safflower (18)	72,2	88,9	33,3	27,7
Ризосфера табака / Rhizosphere of tobacco (9)	55,5	100,0	22,2	11,1
Ризосфера других растений / Rhizosphere of other plants (4)	75,0	50,0	0	0
Почва дерново-подзолистая / Sod-podzolic soil (7)	71,4	85,7	28,6	14,3
Почва серая лесная / Grey forest soil (8)	87,5	100,0	62,5	25,0
Грумусоль / Vertisols (2)	50,0	100,0	0	0
Среднее / Average:				
в почвах / in soils (31)	78,9	94,7	42,1	21,0
в ризосфере / in rhizosphere (17)	67,7	87,0	25,8	19,3

Поскольку активность хитиназ, как индуцибельных ферментов, зависит от компонентного состава среды и условий культивирования продуцента, то теоретически это дает возможность оптимизации этих факторов для повышения уровня синтеза ферментов. Но при этом необходимо учитывать биологические ограничения, обусловленные генетическими факторами, преодолеть которые невозможно. Оптимизация параметров процесса не может повысить выработку или активность ферментов сверх заложенного генетического потенциала.

ПЦР-диагностика генов, детерминирующих хитинолиз, может быть полезной при решении этих вопросов.

Следует заметить, что продукцию хитиназы у бактерий с низким или умеренным хитинолитическим потенциалом можно повысить с помощью гетерологичной экспрессии в других подходящих организмах. Но данный подход, широко применяемый в отношении промышленных продуцентов, мало пригоден в отношении агентов биологического контроля, попадающих в окружающую среду. Поэтому скрининг в культурах стрептомицетов генетических детерминант хитинолиза обладает значительным потенциалом при выявлении кандидатных штаммов для использования в агробиотехнологиях.

На следующем этапе работы у штаммов стрептомицетов с выявленной способностью продуцировать хитиназу оценивали антифунгальное действие в отношении тест-культур фитопатогенных грибов. Как следует из представленных в таблице 5 данных, большинство хитинолитически активных штаммов проявило антифунгальное действие против возбудителей альтернариоза зерновых культур, гельминтоспориозных и фузариозных корневых гнилей.

Таблица 5 – **Антифунгальное действие стрептомицетов-хитинолитиков /**
Table 5 – **Antifungal effect of streptomyces-chitinolytics**

Тест-культура / Test culture	*Штамм стрептомицетов / Streptomyces strain*						
	Мб4-2	*Т1-3*	*6Из-12*	*ТК-5*	*П11-10*	*8Al3*	*А4*
	диаметр зоны подавления роста гриба, мм / zone of growth inhibition, mm						
Alternaria alternata	0	0	21±0,3	25±0,2	14±0	40±0,3	40±0,5
Bipolaris sorokiniana	0	0	15±0,2	23±0,2	30±1,0	44±0,4	44±0,3
Fusarium proliferatum	0	0	0	0	22±0,3	24±0,3	23±0,2
F. culmorum	0	0	0	24±0,1	22±0,1	25±0,3	32±0,2
F. avenaceum	0	18±2,9	0	0	30±1,0	38±0,4	35±0,3
F. oxysporum	0	0	33±0,4	0	20±0,5	28±0,2	26±0,1

Наиболее значительными зонами (до 30–44 мм) подавления роста грибов и широкими спектрами действия характеризовались штаммы А4, 8Al3 и П11-10, изолированные из дерново-подзолистых почв, включая ризосферу растений. Антифунгальная активность этих культур стрептомицетов обусловлена, по-видимому, сочетанием сразу двух механизмов действия: хитинолизом и продукцией противогрибных антибиотиков. Ранее была установлена способность штаммов А4 и 8Al3 продуцировать антибиотик скопафунгин/нифимицин, что делает эти культуры стрептомицетов перспективными агентами биологического контроля возбудителей вредоносных грибных заболеваний [28]. Штаммы ТК-5 (местный) и 6Из-12 (из грумусоли) уступали им как по величине зон ингибирования (до 25–33 мм), так и спектру антифунгального действия. Местные изоляты Мб4-2 (из подзола) и Т1-3 (из торфяника) с достаточно высокой активностью хитиназы выраженное антифунгальное действие в тесте не продемонстрировали.

Заключение. Изучение функциональных свойств природных изолятов стрептомицетов, выделенных из почв Вятско-Камского Предуралья, позволило выявить среди них культуры с хитинолитической и антифунгальной активностью. В ходе работы показано, что доля активно разлагающих хитин штаммов с энзиматическим индексом EI ≥ 2 составила в почвах гумидного климата около 40 %. Отдельные генетические детерминанты хитинолиза (*chiA, chiC, chb*) распространены у стрептомицетов гораздо шире, чем хитинолиз, выявленный в функциональных тестах. Это связано с индуцибельным характером фермента хитиназы и зависимостью его активности от факторов внешней среды.

Оба штамма сравнения, выделенные из грумусоли аридной зоны, также продемонстрировали способность к разрушению хитина и характеризовались наличием в геномах *chiA* и *chiC* при отсутствии *chb*. Наиболее активными среди изолятов из почв гумидного климата оказались штаммы видов *S. griseoaurantiacus* (67,08 Ед/мл) и *S. thermocarboxydus* (38,75 Ед/мл), но максимальной активностью хитиназы (76,46 Ед/мл) отличался изолят из аридной почвы, отнесенный к виду *S. alfalfae.*

References

1. Bhattacharya D., Nagpure A., Gupta R. K. Bacterial chitinases: properties and potential. Critical reviews in biotechnology. 2007;27(1):21–28. DOI: https://doi.org/10.1080/07388550601168223

2. Zargar V., Asghari M., Dashti A. A review on chitin and chitosan polymers: structure, chemistry, solubility, derivatives, and applications. ChemBioEng Reviews. 2015;2(3):204–226. DOI: https://doi.org/10.1002/cben.201400025

3. Nagpure A., Choudhary B., Gupta R. K. Chitinases: in agriculture and human healthcare. Critical reviews in biotechnology. 2014;34(3):215–232. DOI: https://doi.org/10.3109/07388551.2013.790874

4. Kumar M., Chakdar H., Pandiyan K., Thapa S., Shahid M., Singh A. et al. Bacterial chitinases: genetics, engineering and applications. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2022;38(12):252.
DOI: https://doi.org/10.1007/s11274-022-03444-9

5. Терегулова Г. А., Манучарова Н. А., Уразбахтина Н. А., Жемчужина Н. С., Евтушенко Л. И., Степанов А. Л. Антимикробная активность специализированных метаболитов почвенных стрептомицетов-хитинолитиков. Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2024;(1):51–60.
DOI: https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-1-51-60 EDN: WORKDE

Teregulova G. A., Manucharova N. A., Urazbakhtina N. A., Zhemchu-zhina N. S., Evtushenko L. I., Stepanov A. L. Antimicrobial activity of specialised metabolites of soil streptomycetes-chitinolytic. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie* = Lomonosov Soil Science Journal. 2024;(1):51–60. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-1-51-60

6. Виноградова К. А., Шаркова Т. С., Александрова А. В., Кожевин П. А. Анализ межпопуляционных взаимодействий почвенных грибов и актиномицетов. Микология и фитопатология. 2005;39(3):28–40.

Vinogradova K. A., Sharkova T. S., Aleksandrova A. V., Kozhevin P. A. Analysis of interactions between populations of soil fungi and actinomycetes. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 2005;39(3):28–40. (In Russ.).

7. Виноградова К. А., Кожевин П. А. Взаимоотношения актиномицетов с почвенными грибами и их использование для биологического контроля фитопатогенов. Микология и фитопатология. 2011;45(4):289–302.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=16515556 EDN: NXKQYX

Vinogradova K. A., Kozhevin P. A. Interaction between actinomycetes and soil fungi in relation to the biological control of phytopathogens. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 2011;45(4):289–302. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=16515556

8. Da Cruz Silva G., Kitano T. I., de Figueiredo Ribeiro I. A., Lacava P. T. The Potential Use of Actinomycetes as Microbial Inoculants and Biopesticides in Agriculture. Frontiers in Soil Science. 2022;2:833181.
DOI: https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.833181

9. Wang M., Li H., Li J., Zhang W., Zhang J. Streptomyces strains and their metabolites for biocontrol of phytopathogens in agriculture. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2024;72(4):2077–2088.
DOI: https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c08265

10. Rajendran K., Krishnamoorthy M., Karuppiah K., Ethiraj K., Sekar S. Chitinase from *Streptomyces mutabilis* as an effective eco-friendly biocontrol agent. Applied Biochemistry and Biotechnology. 2024;196(1):18–31.
DOI: https://doi.org/10.1007/s12010-023-04489-8

11. Shekhar N., Bhattacharya D., Kumar D., Gupta R. K. Biocontrol of wood-rotting fungi with *Streptomyces violaceusniger* XL-2. Canadian Journal of Microbiology. 2006;52(9):805–808. DOI: https://doi.org/10.1139/w06-035

12. Звягинцев Д. Г., Зенова Г. М. Биология почв. М.: Издательство МГУ, 2001. 356 с.

Zvyagintsev D. G., Zenova G. M. Soil biology. Moscow: *Izdatel'stvo MGU*, 2001. 356 p.

13. Watve M. G., Tickoo R., Jog M. M., Bhole B. D. How many antibiotics are produced by the genus Streptomyces? Archives of Microbiology. 2001;176(5):386–390. DOI: https://doi.org/10.1007/s002030100345

14. Ekundayo F. O., Folorunsho A. E., Ibisanmi T. A., Olabanji O. B. Antifungal activity of chitinase produced by Streptomyces species isolated from grassland soils in Futa Area, Akure. Bulletin of the National Research Centre. 2022;46(1):95. DOI: https://doi.org/10.1186/s42269-022-00782-4

15. Rashad Y. M., Al-Askar A. A., Ghoneem K. M., Saber W. I. A., Hafez E. E. Chitinolytic *Streptomyces griseorubens* E44G enhances the biocontrol efficacy against Fusarium wilt disease of tomato. Phytoparasitica. 2017;45(2):227–237. DOI: https://doi.org/10.1007/s12600-017-0580-3

16. Abo-Zaid G., Abdelkhalek A., Matar S., Darwish M., Abdel-Gayed M. Application of bio-friendly formulations of chitinase-producing *Streptomyces cellulosae* Actino 48 for controlling peanut soil-borne diseases caused by *Sclerotium rolfsii*. Journal of Fungi. 2021;7(3):167. DOI: https://doi.org/10.3390/jof7030167

17. Ivanova A. A., Wegner C.-E., Kim Y., Liesack W., Dedysh S. N. Identification of microbial populations driving biopolymer degradation in acidic peatlands by metatranscriptomic analysis. Molecular Ecology. 2016;25(18):4818–4835. DOI: https://doi.org/10.1111/mec.13806

18. Мухаммадиев Р. С., Мухаммадиев Р. С., Соловьева А. С., Валиуллин Л. Р., Скворцов Е. В. Скрининг микрооргоорганизмов с хитиназной активностью. Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2020;22:470–474. Режим доступа: https://elibrary.ru/rmiiku EDN: RMIIKU

Mukhammadiev R. S., Mukhammadiev R. S., Solov'eva A. S., Valiullin L. R., Skvortsov E. V. Screening of microorganisms with chitinase activity. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva*. 2020;22:470–474. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/rmiiku

19. Koteshwara A. Simple Methods for the Preparation of Colloidal Chitin, Cell Free Supernatant and Estimation of Laminarinase. Bio-Protocol. 2021;11(19):e4176. DOI: https://doi.org/10.21769/BioProtoc.4176

20. Shivalee A., Divatar M., Sandhya G., Sarfaraz A., Lingappa K. Isolation and screening of soil microbes for extracellular chitinase. Journal of Advanced Scientific Research. 2016;7(2):10–14. URL: https://www.researchgate.net/publication/303762490_ISOLATION_AND_SCREENING_OF_SOIL_MICROBES_FOR_EXTRACELLULAR_CHITINASE_ACTIVITY

21. Miller G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry. 1959;31(3):426–442. DOI: https://doi.org/10.1021/ac60147a030

22. Sambrook J., Fritsch E. F., Maniatis T. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. Cold Spring Harbor: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1983.

23. Saito A., Ishizaka M., Francisco P. B., Fujii T., Miyashita K. Transcriptional coregulation of five chitinase genes scattered on the *Streptomyces coelicolor* A3(2) chromosome. Microbiology. 2000;146(11):2937–2946. DOI: https://doi.org/10.1099/00221287-146-11-2937

24. Lacombe-Harvey M. È., Brzezinski R., Beaulieu C. Chitinolytic functions in actinobacteria: ecology, enzymes, and evolution. Applied Microbiology and Biotechnology. 2018;102(17):7219–7230. DOI: https://doi.org/10.1007/s00253-018-9149-4

25. Kolbe S., Fischer S., Becirevic A., Hinz P., Schrempf H. The Streptomyces reticuli α-chitin-binding protein CHB2 and its gene. Microbiology. 1998;144(5):1291–1297. DOI: https://doi.org/10.1099/00221287-144-5-1291

26. Agostoni M., Hangasky J. A., Marletta M. A. Physiological and molecular understanding of bacterial polysaccharide monooxygenases. Microbiology and Molecular Biology Reviews. 2017;81(3):e00015-17. DOI: https://doi.org/10.1128/MMBR.00015-17

27. Meriem G., Mahmoud K. Optimization of chitinase production by a new *Streptomyces griseorubens* C9 isolate using response surface methodology. Annals of Microbiology. 2017;67(2):175–183. DOI: https://doi.org/10.1007/s13213-016-1249-8

28. Shirokikh I. G., Nazarova Ya. I., Bokov N. A., Alalykin A. A., Shirokikh A. A. New Agronomically Valuable Strains of the Genus *Streptomyces* and Their Biochemical Characteristics. Applied Biochemistry and Microbiology. 2025;61(1):184–193. DOI: https://doi.org/10.1134/S0003683824605110

Сведения об авторах

✉ **Широких Ирина Геннадьевна**, доктор биол. наук, главный научный сотрудник, 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/0000-0002-3319-2729**, e-mail: irgenal@mail.ru

Боков Никита Александрович, аспирант, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1000-1192**

Бакулина Анна Владимировна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией молекулярной биологии и селекции, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5171-2476**

Бессолицына Екатерина Андреевна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5582-1709**

Information about the authors

✉ **Irina G. Shirokikh**, DSc in Biological Science, chief researcher, Head of the Laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, email: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3319-2729**, e-mail: irgenal@mail.ru

Nikita A. Bokov, graduate student, junior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1000-1192**

Anna V. Bakulina, PhD in Biological Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Molecular Biology and Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5171-2476**

Ekaterina A. Bessolitsyna, PhD in Biological Science, senior researcher, the Laboratory of Molecular Biology and Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5582-1709**

✉ – Для контактов / Corresponding author

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.608–617
УДК 635.21:631.563

(cc) BY

Российские сорта для переработки на хрустящий картофель

© 2025. А. Э. Шабанов, С. В. Мальцев ✉, Д. В. Абросимов, П. В. Соломенцев
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха», Московская область, Российская Федерация

Государственный реестр селекционных достижений России за 2015–2025 годы пополнился десятками новых сортов картофеля. При этом в литературных источниках мало информации об их сопоставимой по количественным и качественным показателям пригодности к переработке на хрустящий картофель. Особенно при выращивании в одинаковых условиях. Цель исследований – определить новые отечественные сорта картофеля, отличающиеся высокой урожайностью, товарностью, выходом здоровых клубней и пригодностью к переработке на хрустящий картофель; выявить факторы, влияющие на количественные и качественные показатели сырья. Исследования проводили в условиях Московской области в 2022–2024 гг. Картофель выращивали на среднеобеспеченной питательными элементами дерново-подзолистой супесчаной почве. В двухфакторном опыте изучали товарную урожайность картофеля с учётом процента выхода здоровых клубней и качество хрустящего картофеля. Факторы: А – сорт картофеля (58 шт.); Б – количество осадков во второй половине вегетации (3 градации – 57,5 мм в 2022 г.; 83,4 мм в 2024 г.; 135,2 мм в 2023 г.). Посадку картофеля проводили в I декаде мая, уборку – в I декаде сентября, густота посадки 45 тыс. клубней/га, ширина междурядий 75 см. Обжаривание ломтиков картофеля толщиной 1,2 мм проводили при температуре 170–180 °С. Установлено, что количественный выход сырья, пригодного для переработки на хрустящий картофель, определялся главным образом величиной осадков во второй половине вегетации (влияние фактора по результатам дисперсионного анализа 56,3 %), а качество сырья – сортом (59,1 %). Из 58 изученных выделены и рекомендованы в производство 13 сортов картофеля, сочетающих высокие показатели урожайности (28,8–37,7 т/га), товарности (52,0–79,7 %), выхода здоровых клубней (95,5–99,6 %), содержания крахмала (14,3–19,3 %), индекса редуцирующих сахаров (2,0–3,2) и тем самым отличающихся высокой пригодностью к переработке на хрустящий картофель (6,0–8,3 балла): Александрит, Ариэль, Шах, Орлан, Розовый чародей, Ника, Евпатий, Кавалер, Каштак, Печорский, Принцесса Натаван, Спиридон, Чайка.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., *сорт, урожайность, биохимические показатели, кластерный анализ*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках комплексного плана научных исследований (КПНИ) «Развитие селекции и семеноводства картофеля» в 2016–2025 гг. по теме «Испытание сортов и гибридов картофеля».
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Шабанов А. Э., Мальцев С. В., Абросимов Д. В., Соломенцев П. В. Российские сорта для переработки на хрустящий картофель. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):608–617.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.608-617

Поступила: 14.04.2025 Принята к публикации: 14.05.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Russian cultivars for processing into potato chips

© 2025. Adam E. Shabanov, Stanislav V. Maltsev ✉, Dmitry V. Abrosimov, Pavel V. Solomentsev
Russian Potato Research Centre, Moscow region, Russian Federation

The State Register of Breeding Achievements of Russia has added dozens of new potato cultivars over the period of 2015-2025. However, there is little information in the literature about their comparable quantitative and qualitative suitability for processing into chips. Especially when grown in the similar conditions. The aim of the study was to identify new domestic potato cultivars that are distinguished by high yield, marketability, yield of healthy tubers and suitability for processing into chips; identify factors influencing the quantitative and qualitative indicators of raw materials. The research was carried out in the Moscow Region in 2022–2024. Potatoes were grown on sod-podzolic sandy loam soil that was moderately rich in nutrients. In a two-factor experiment, the commercial yield of potatoes was studied taking into account the output of healthy tubers and the quality of chips. Factors: A – potato cultivar (58 pcs.); B – amount of precipitation in the 2nd half of the growing season (3 gradations – 57.5 mm in 2022, 83.4 mm in 2024, 135.2 mm in 2023). Potatoes were planted in the first decade of May,

harvested in the first decade of September, planting density was 45 thousand tubers/ha, row spacing – 75 cm. Frying of potato slices 1.2 mm thick was carried out at a temperature of 170–180 °C. It was found that the quantitative yield of raw material suitable for processing into chips was determined mainly by the amount of precipitation in the 2nd half of the growing season (the influence of the factor according to the results of the dispersion analysis was 56.3 %), and the quality of raw material was determined by the cultivar (59.1 %). From the 58 studied, 13 potato cultivars were chosen and recommended for production, because they combined high yields (28.8–37.7 t/ha), marketability (52.0–79.7 %), yield of healthy tubers (95.5–99.6 %), starch content (14.3–19.3 %), index of reducing sugars (2.0–3.2) and thus characterized by high suitability for processing into chips (6.0–8.3 points): 'Aleksandrit', 'Arijel', 'Shakh', 'Orlan', 'Rozovyj Charodej', 'Nika', 'Evpatij', 'Cavaler', 'Kashtak', 'Pechorskij', 'Princessa Natavan', 'Spyridon', 'Chajka'.

Keywords: *Solanum tuberosum* L.*, cultivar, yield, biochemical parameters, cluster analysis*

Acknowledgments: 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 comprehensive scientific research plan (CSRP) «Development of potato breeding and seed production» 2016–2025 on the topic «Testing potato cultivars and hybrids».

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 citation: Shabanov A. E., Maltsev S. V., Abrosimov D. V., Solomentsev P. V. Russian cultivars for processing into potato chips. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):608–617. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.608-617

Received: 14.04.2025 Accepted for publication: 14.05.2025 Published online: 30.06.2025

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – важнейший незерновой источник питания в мире, играющий ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности нынешних и будущих поколений [1, 2]. Рост мирового потребления картофеля в значительной степени обусловлен спросом на переработанные картофелепродукты. Среди них на всех мировых рынках картофельные чипсы формируют крупнейший сектор снэков [3]. В 2020 году мировая выручка в сегменте картофельных чипсов составила около 43,7 млрд долларов США при прогнозе дальнейшего роста 3,6 % в год [4].

В России картофель в силу высокой урожайности и пищевой ценности традиционно считается «вторым хлебом» [5]. Объём производства данной культуры в сельскохозяйственных предприятиях и крестьянских фермерских хозяйствах России в 2023-2024 гг. составил около 8,0 млн тонн при уровне переработки на хрустящий картофель 5–7 %, что в несколько раз ниже, чем в западноевропейских странах [6, 7].

К биохимическому составу клубней для переработки на хрустящий картофель предъявляются особые требования по содержанию редуцирующих сахаров и крахмала. Высокое (>0,3 %) содержание редуцирующих сахаров, таких как глюкоза и фруктоза, отрицательно сказывается на качестве обжаренных картофелепродуктов [8]. Причина тому – серия неферментативных реакций между редуцирующими сахарами и свободными аминокислотами (в основном аспарагином) во время жарки, приводящей к образованию продуктов коричнево-чёрного цвета с неприятным привкусом, известная как реакция Майяра [9]. Важно, что реакция Майяра также способствует формированию потенциально канцерогенного акриламида, вызывающего обеспокоенность по поводу безопасности пищевых продуктов во всём мире [10]. Содержание крахмала в клубнях для переработки на хрустящий картофель должно быть 14–18 %, если меньше – ухудшается текстура готового продукта и увеличивается расход масла при обжаривании, если больше – чипсы становятся слишком жёсткими. Помимо биохимического состава, к клубням для переработки на хрустящий картофель предъявляются также следующие требования: гладкая поверхность; размер 40–60 мм; форма от округлой до округло-овальной; глубина залегания глазков не более 1,5 мм при их количестве не более 6 шт. на клубень [11, 12]. При этом сорта для переработки из экономических соображений в идеале должны отличаться высокой урожайностью, товарностью и устойчивостью к заболеваниям, т. е. процентом выхода здоровых стандартных клубней [13, 14]. Использование различных агротехнологий способно лишь отчасти повлиять на эти параметры [15, 16]. Поэтому принципиальное значение приобретает выбор сорта картофеля [17]. Однако до сих пор не до конца изученным остаётся вопрос насколько урожайность здоровых стандартных клубней определяется сортовыми особенностями картофеля, а насколько метеоусловиями, под которыми в первую очередь понимается количество осадков во второй половине вегетации при выращивании картофеля на богаре [18, 19]. Нет ясности и в том, каков вклад факторов сорта и осадков второй половины вегетации в формировании качества хрустящего картофеля.

За последнее десятилетие Государственный реестр селекционных достижений России пополнился десятками новых отечественных сортов картофеля. Однако их комплексную оценку на пригодность к переработке на хрустящий картофель при одновременном выращивании в одинаковых условиях с учётом количественных и качественных показателей до сих пор не проводили.

Цель исследования – определить новые отечественные сорта картофеля, отличающиеся высокой урожайностью, товарностью, выходом здоровых клубней и пригодностью к переработке на хрустящий картофель; выявить факторы, влияющие на количественные и качественные показатели сырья.

Научная новизна – впервые из широкого набора сортов отечественной селекции на основе многомерного кластерного анализа выделены сортообразцы для переработки на хрустящий картофель, сочетающие высокие показатели урожайности, товарности, выхода здоровых клубней, а также характеризующиеся высоким содержанием крахмала и низким уровнем редуцирующих сахаров.

Материал и методы. Исследования проводили на экспериментальной базе «Коренево» ФГБНУ ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха (Московская обл., г.о. Люберцы,) в 2022–2024 гг. Картофель выращивали на дерново-подзолистой супесчаной почве со следующими агрохимическими показателями: $N\text{-}NO_3$+$N\text{-}NH_4$ – 720,0–740,0 мг/кг почвы, P_2O_5 – 360,0–380,0 мг/кг почвы, K_2O – 90,0–105,0 мг/кг почвы, гумус – 1,7-1,8 %, Нг = 3,8–4,1 мг-экв/100 г почвы, S = 1,8–2,1 мг-экв/100 г почвы, V = 33,7–36,5 %, pH_{KCl} 4,1–4,3.

Учитывая, что клубнеобразование и накопление урожая картофеля происходят во второй половине вегетации, при прочих равных условиях выращивания (температурно-влажностные показатели в первой половине вегетации и одинаковая технология возделывания), количество осадков, выпавших со II декады июля по II декаду августа включительно, принимали в расчет как самостоятельный фактор. Таким образом, трёхлетние исследования рассматривались как единый двухфакторный опыт: А – сорт картофеля (58 шт.); Б – количество осадков со II декады июля по II декаду августа включительно (3 градации – 57,5 мм в 2022 г.; 135,2 мм в 2023 г.; 83,4 мм в 2024 г. при среднемноголетней норме 97,3 мм).

Число вариантов исследования – 174, посадка в трёхкратной повторности, площадь учетной делянки – 25 м^2. Срок посадки – I декада мая, уборки – I декада сентября, густота посадки 45 тыс. клубней/га, ширина междурядий 75 см.

В опыте по общепринятой методике[1] изучали следующие показатели: 1) урожайность картофеля; 2) товарность клубней; 3) выход здоровых клубней; 4) содержание в клубнях крахмала; 5) индекс редуцирующих сахаров; 6) качество хрустящего картофеля.

Товарность клубней рассчитывали как процент массы клубней с наибольшим поперечным диаметром >30 мм. Процент выхода здоровых клубней определяли по результатам клубневого анализа через месяц хранения картофеля (т. е. после прохождения лечебного периода) за вычетом процента технического отхода и абсолютной гнили. Содержание крахмала определяли весовым методом по удельной массе клубней в воздухе и воде, содержание редуцирующих сахаров – методом Самнера с использованием водяной бани ПЭ-4312, аквадистиллятора ПЭ-2220 (ГК «Экросхим», Россия) и спектрофотометра SPEKOL 1300 («Analytik Jena», Германия). Под индексом редуцирующих сахаров понималась величина, обратная содержанию в клубнях редуцирующих сахаров, т. е. их содержание в минус первой степени, что удобнее использовать для визуализации при кластерном анализе.

Процесс изготовления хрустящего картофеля состоял в следующем: мойка; ножевая чистка; резка клубней на ломтики толщиной 1,2 мм; обсушка бумажным полотенцем; обжарка в рафинированном подсолнечном масле при температуре 170–180 °С. Объём пробы – 30 ломтиков из 5 клубней. Оценку сортов картофеля на пригодность к переработке на хрустящий картофель проводили согласно методическим указаниям по 9-балльной шкале[2].

[1]Жевора С. В., Федотова Л. С., Старовойтов В. И., Зейрук В. Н., Коршунов А. В., Пшеченков К. А., Тимошина Н. А., Мальцев С. В., Старовойтова О. А., Васильева С. В., Шабанов А. Э., Деревягина М. К., Белов Г. Л., Киселёв А. И., Князева Е. В. Методика проведения агротехнических опытов, учётов, наблюдений и анализов на картофеле. М.: ВНИИКХ, 2019 г. 120 с.

[2]Пшеченков К. А., Давыденкова О. Н., Седова В. И., Мальцев С. В., Чулков Б. А. Методические указания по оценке сортов картофеля на пригодность к переработке и хранению. М.: ВНИИКХ, 2008. 39 с.

Анализ данных. Статистическую обработку данных осуществляли с использованием программного пакета для статистического анализа STATISTICA 10 (Statsoft, Dell Software, США). Вычисляли среднее значение выборки (M) и доверительный интервал (±ΔX). При этом $\Delta X = t_{P,f} \times SEM$, где $t_{P,f}$ – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности P и числа степеней свободы f, SEM – стандартная ошибка среднего. Проверку гипотезы на однородность дисперсий проводили по критериям Хартли, Кохрена, Бартлетта и Левина. При $p \geq 0,05$ гипотеза об однородности дисперсий принималась. Группировку сортов на кластеры проводили методом К-средних, число кластеров – 10, число итераций – 10, начальные центры кластеров заданы через одинаковые интервалы в ранжированном ряду расстояний (Sort distances and take observations at constant intervals)[3].

Результаты и их обсуждение. *Влияние группы спелости сорта и условий влагообеспеченности во второй половине вегетации на биохимические показатели клубней и их пригодность к переработке.* Исходя из данных, представленных в таблице 1, видно, что индекс редуцирующих сахаров (величина, обратная их содержанию в клубнях) не зависел от группы спелости сорта, находясь в среднем по сортам на уровне 2,0 (т. е. 0,5 %). Содержание крахмала, напротив, на уровне значимости $p<0,05$ от этих факторов зависело существенно. В группе среднеранних и среднеспелых сортов содержание крахмала составило 16,4 и 16,5 %, что на 1,9 и 2,0 процентных пунктов выше, чем в группе ранних 14,5 %. Тем не менее, это значение было выше порогового уровня 14,0 %, обеспечивающего получение хрустящего картофеля удовлетворительного качества. Поэтому качество конечного продукта определялось в первую очередь сортовыми особенностями картофеля, а не его группой спелости.

Таблица 1 – **Продуктивность картофеля, биохимические показатели клубней и качество хрустящего картофеля (M±ΔX, доверительная вероятность P = 0,95, n = 9, df = 8, $t_{P, f}$ = 2,306, в среднем за 2022–2024 гг.) /**
Table 1 – **Potato productivity, biochemical parameters of tubers and quality of chips (M±ΔX, confidence interval P = 0.95, n = 9, df = 8, $t_{P, f}$ = 2.306, on average for 2022–2024)**

Сорт / Cultivar	*Урожайность картофеля, т/га / Potato yield, t/ha*	*Товарность клубней, % / Marketability of tubers, %*	*Выход здоровых клубней, % / The yield of healthy tubers, %*	*Содержание в клубнях крахмала, % / Starch content in tubers, %*	*Индекс редуцирующих сахаров / Index of reducing sugars*	*Качество хрустящего картофеля, балл / Quality of chips, points*
1	2	3	4	5	6	7
Ранние сорта / Early maturing cultivars						
Александрит / ‘Aleksandrit’	36,8±2,5	76,7±7,9	99,2±1,0	14,3±0,5	3,0±0,9	7,7±0,8
Арго / ‘Argo’	39,2±6,2	77,7±10,8	97,6±1,2	13,0±0,2	1,5±0,1	5,0±0,2
Башкирский / ‘Bashkirskij’	29,3±7,8	78,3±7,2	86,0±1,5	15,9±1,0	2,7±0,7	5,7±0,8
Блоссом / ‘Blossom’	38,4±15,3	82,3±11,8	90,8±0,8	14,2±1,0	3,0±1,0	6,3±1,5
Глория / ‘Glorija’	34,9±14,9	65,7±15,2	94,0±1,1	16,3±2,0	1,9±0,4	5,0±1,2
Калужский / ‘Kaluzhskij’	28,4±4,8	74,7±15,7	98,2±3,3	14,0±1,7	3,6±0,2	5,0±0,2
Красноярский ранний / ‘Krasnojarskij rannij’	28,2±9,3	75,9±16,9	98,4±1,2	14,4±1,5	1,4±0,1	6,0±0,2
Полярный / ‘Poljarnyj’	27,8±7,9	61,3±15,5	98,0±0,6	16,6±0,3	1,6±0,5	6,7±0,8
Спринтер / ‘Sprinter’	31,8±5,8	75,7±18,8	93,9±0,7	13,8±0,6	1,6±0,1	5,0±0,2
Томичка / ‘Tomichka’	38,5±8,7	67,3±23,6	90,2±1,4	13,2±0,4	1,6±0,2	5,3±0,4
Холмогорский / ‘Holmogorskij’	34,0±12,0	64,0±17,4	99,0±4,3	15,9±0,8	1,7±0,2	6,0±0,2
Удача / ‘Udacha’	37,0±6,3	78,0±13,7	97,3±0,8	14,3±1,2	3,8±0,1	5,7±0,8
Ред Скарлетт/ ‘Red Skarlett’	36,8±8,4	76,7±8,8	94,0±1,4	11,9±0,6	2,0±1,1	7,0±1,1

[3]Усманов Р. Р. Статистическая обработка данных агрономических исследований в программе «STATISTICA»: учебно-методическое пособие. М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2020. 177 с.

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Среднеранние сорта / Medium-early maturing cultivars						
Алка / ‘Alka’	32,2±9,8	70,7±20,9	98,9±2,1	12,5±1,2	2,3±0,2	6,3±0,8
Ариэль / ‘Arijel’’	34,2±9,0	73,0±19,7	97,3±0,7	17,2±2,0	2,8±0,2	6,0±0,2
Бабынинский / ‘Babyninskij’	25,3±7,8	62,0±24,2	97,2±1,1	17,6±1,0	1,4±0,4	7,7±0,8
Багира / ‘Bagira’	35,5±2,3	66,3±15,3	91,4±1,1	15,2±1,0	1,7±0,6	7,0±1,2
Виза / ‘Viza’	30,5±7,4	59,7±21,8	91,3±2,3	18,2±1,5	1,5±0,2	5,7±0,8
Вычегодский / ‘Vychegodskij’	29,4±8,8	54,7±12,8	95,1±2,8	21,6±1,9	1,5±0,2	4,0±1,2
Двинский / ‘Dvinskij’	27,5±7,2	61,0±16,0	80,8±5,0	15,6±0,2	1,4±0,2	5,3±0,4
Догота / ‘Dogota’	28,2±4,4	66,3±12,8	93,1±6,8	17,5±2,9	2,2±0,1	5,3±0,4
Зырянец / ‘Zyrjanec’	30,8±6,3	88,3±5,4	93,8±3,4	15,9±0,4	1,7±0,3	6,7±0,8
Крутой / ‘Krutoj’	33,0±8,0	70,3±17,8	92,7±1,0	16,8±0,3	2,2±0,2	6,7±0,4
Кузбасский / ‘Kuzbasskij’	23,5±3,6	48,0±19,1	91,1±1,0	21,4±1,6	2,4±0,4	6,7±0,8
Ника / ‘Nika’	37,7±9,8	64,7±22,2	96,6±1,8	15,4±0,5	2,8±0,6	7,0±1,1
Самородок / ‘Samorodok’	32,0±7,5	65,0±15,5	93,6±1,4	13,8±0,2	2,3±0,6	6,0±1,2
Сосруко / ‘Sosruko’	31,8±8,5	69,7±14,2	96,7±1,3	15,1±0,8	2,8±0,6	6,7±0,8
Тана / ‘Tana’	28,7±6,3	77,0±2,4	96,1±1,5	19,3±2,9	2,3±0,2	7,0±0,2
Тайфун / ‘Tajfun’	31,4±7,6	83,3±9,8	96,6±1,1	15,6±1,1	2,8±0,7	6,7±1,4
Фарн / ‘Farn’	26,9±7,5	64,3±9,2	96,0±1,5	17,7±1,2	2,6±0,2	7,3±0,4
Чародей / ‘Charodej’	24,7±2,6	70,7±8,8	93,6±0,7	15,9±1,1	2,6±0,5	6,7±0,8
Шах / ‘Shakh’	35,4±6,7	79,7±12,0	95,5±0,7	16,8±0,8	2,7±0,6	6,7±0,8
Невский / ‘Nevskij’	25,7±3,4	66,7±21,2	90,9±0,7	13,7±0,2	3,1±0,2	7,0±0,2
Гала / ‘Gala’	26,2±4,9	51,7±19,4	97,6±1,2	14,2±0,2	2,9±0,8	6,3±0,4
Среднеспелые сорта / Medium maturing cultivars						
Арамис / ‘Aramis’	27,8±5,3	80,0±8,8	95,9±1,4	17,3±1,6	1,3±0,3	6,3±0,8
Армада / ‘Armada’	44,3±6,8	71,0±9,1	99,2±0,6	14,8±1,3	2,0±0,2	6,0±0,2
Артур / ‘Artur’	30,8±9,9	61,0±16,0	90,0±1,9	18,1±1,2	2,3±0,4	7,7±0,4
Восторг / ‘Vostorg’	30,4±6,0	66,0±19,7	95,4±1,3	15,8±1,9	2,8±0,8	7,7±0,8
Дальневосточный / ‘Dal'nevostochnyj’	28,1±5,9	54,7±15,8	94,3±1,6	16,4±0,9	1,0±0,2	4,3±0,8
Евпатий / ‘Evpatij’	35,8±12,8	55,7±22,3	99,6±0,4	18,8±1,4	3,2±0,2	8,3±0,4
Интеллигент / ‘Intelligent’	31,3±7,9	62,3±20,0	93,0±0,7	16,2±1,0	0,8±0,1	3,0±0,2
Кавалер / ‘Kavaler’	30,6±7,3	58,7±21,9	98,8±0,7	16,8±1,8	2,5±0,3	8,0±0,2
Каштак / ‘Kashtak’	34,4±12,0	61,7±24,3	96,9±0,9	15,9±1,3	2,3±0,3	6,7±0,8
Кетский / ‘Ketskij’	27,2±4,8	74,7±10,2	98,2±0,7	16,1±0,7	2,7±0,6	6,7±0,8
Кузовок / ‘Kuzovok’	24,4±6,5	59,7±14,4	99,0±0,9	14,1±0,7	1,2±0,2	5,3±0,8
Кумир / ‘Kumir’	28,9±7,5	59,3±20,4	96,4±1,7	16,8±0,4	2,0±0,2	6,3±0,4
Мираж / ‘Mirazh’	34,1±6,4	78,7±15,5	88,8±1,0	19,4±0,4	1,7±0,1	7,0±1,1
Моряк / ‘Morjak’	27,1±7,7	67,7±18,4	97,3±0,8	16,3±0,3	2,2±0,4	6,7±0,8
Надежда / ‘Nadezhda’	29,1±9,1	74,3±22,2	87,6±2,5	19,9±3,1	3,7±0,7	8,3±0,4
Орлан / ‘Orlan’	31,8±7,1	78,3±4,4	97,7±1,3	19,3±0,7	2,6±0,3	7,7±0,4
Печорский / ‘Pechorskij’	28,9±6,4	63,7±17,6	98,8±0,7	16,2±1,5	2,1±0,5	7,3±1,0
Принцесса Натаван / ‘Princessa Natavan’	28,8±3,9	62,7±15,2	97,6±1,2	15,4±0,3	3,1±0,3	8,0±0,7
Розовый чародей / ‘Rozovyj Charodej’	33,2±10,4	79,3±10,7	98,8±0,7	16,0±1,0	3,1±0,5	8,3±0,4
Спиридон / ‘Spiridon’	31,3±6,4	52,0±16,7	95,8±1,4	15,3±0,8	2,0±0,3	6,7±0,8
Тарасов / ‘Tarasov’	30,3±5,8	63,0±13,4	93,1±2,1	13,4±1,0	3,0±0,2	8,0±0,7
Терский / ‘Terskij’	27,3±4,8	79,0±6,0	92,9±2,0	16,7±0,9	1,5±0,2	6,0±0,2
Флагман / ‘Flagman’	37,6±6,9	70,7±3,0	96,8±0,8	16,3±0,6	1,6±0,4	6,3±0,8
Чайка / ‘Chajka’	35,3±10,3	58,3±19,6	98,2±0,7	15,0±1,9	2,6±0,3	7,7±0,8

Фактор осадков второй половины вегетации сказывался на биохимическом составе клубней и их пригодности к переработке на хрустящий картофель следующим образом. В более засушливый 2022 г. содержание крахмала в среднем по изученным сортам составило на уровне 17,7 %, что на 2,3–2,9 процентных пункта выше, чем в 2023 и 2024 годах. Но при этом содержание редуцирующих сахаров в 2022 году было также выше на 0,1 процентных пункта (составляя 0,5 %), а учитывая его значимую роль, в целом, недостаток влаги во второй половине вегетации на качестве хрустящего картофеля сказался негативно. Качество конечного продукта в более влажный 2023 год на 0,7–0,9 балла было выше – в среднем по сортам 7,0 баллов. Аналогичное влияние условий влагообеспеченности отмечено в более ранних исследованиях при оценке качества быстрозамороженного картофеля и фри [20].

Урожайность товарного картофеля (>30 мм) с учётом процента выхода здоровых клубней закономерно была наибольшей в 2023 году, составляя 28,0 т/га при количестве выпавших осадков во второй половине вегетации 135,2 мм; в 2024 году при 83,4 мм осадков – 25,1 т/га и при 57,5 мм – 10,0 т/га.

Выявление значимости факторов «сорт» и «количество осадков во второй половине вегетации» на количественные и качественные показатели сырья для переработки. Вышеприведённые данные представлены усреднённо по 58 изученным сортам. Однако большую научную и практическую ценность представляют сведения о пригодности картофеля к переработке в отдельности по каждому сорту, в том числе с учётом урожайности, товарности и выхода здоровых клубней. При этом необходимо понимать, насколько фактор сорта является определяющим в формировании количественных и качественных показателей сырья. Для решения этой задачи был проведён дисперсионный анализ данных (табл. 2), показавший, что влияние фактора «сорт» (16,6 %) уступает фактору «осадки» (56,3 %) в формировании товарной урожайности картофеля с учётом процента выхода здоровых клубней, однако превалирует в формировании качества хрустящего картофеля («сорт» – 59,1 %; «осадки» – 7,0 %).

Таблица 2 – **Результаты дисперсионного анализа по оценке влияния факторов «сорт» и «количество осадков во второй половине вегетации» на товарную урожайность стандартных клубней картофеля и качество сырья для переработки (различия статистически значимы при p < 0,05)**
Table 2 – **Results of dispersion analysis for assessing the influence of the factors «cultivar» and «amount of precipitation in the second half of the growing season» on the commercial yield of standard potato tubers and the quality of raw material for processing (differences are statistically significant at p < 0.05)**

Факторы и их комбинации / Factors and their combinations	*Сумма квадратов / SS*	*Число степеней свободы / df*	*Дисперсия / MS*	*F*	*p*	*Влияние фактора, % / Factor influence, %*
Товарная урожайность картофеля с учётом процента выхода здоровых клубней / Commercial potato yield, taking into account the output of healthy tubers						
Осадки / Precipitation	34255,5	2,0	17127,8	8046,2	0,00	56,3
Сорт / Cultivar	10128,0	57,0	177,7	83,5	0,00	16,6
Осадки × сорт / Precipitation x cultivar	15740,6	114,0	138,1	64,9	0,00	25,9
Ошибка / Error	740,8	348,0	2,1	-	-	1,2
Всего / Total	60864,9	-	-	-	-	100,0
Качество сырья для переработки на хрустящий картофель / Quality of raw material for processing into chips						
Осадки / Precipitation	72,9	2	36,5	429,9	0,00	7,0
Сорт / Cultivar	616,6	57	10,8	127,5	0,00	59,1
Осадки x сорт / Precipitation × cultivar	324,2	114	2,8	33,5	0,00	31,1
Ошибка / Error	29,5	348	0,1	-	-	2,8
Всего / Total	1043,2	-	-	-	-	100,0

Другими словами, условия влагообеспеченности второй половины вегетации определяли количественный выход сырья, а сорт – его качество с точки зрения пригодности к переработке. К подобным же выводам пришли в недавних исследованиях итальянские учёные, изучавшие урожайность и качество картофеля в органическом земледелии [21].

Группировка сортов картофеля с учётом количественных и качественных показателей. В результате кластерного анализа методом К-средних из 10 кластеров были выделены два, включающие сорта картофеля, наиболее пригодные по комплексу показателей для переработки на хрустящий картофель (рис.): Кластер № 9: Александрит, Ариэль, Шах, Орлан, Розовый чародей; Кластер № 7: Ника, Евпатий, Кавалер, Каштак, Печорский, Принцесса Натаван, Спиридон, Чайка.

В отличие от сортов в кластере 9, сорта в кластере 7 характеризовались несколько меньшей товарностью и содержанием крахмала в клубнях, однако при высоких значениях всех остальных параметров, с точки зрения их пригодности для переработки на хрустящий картофель, это было некритично. Кроме вышеперечисленных, в кластер 7 вошёл сорт Восторг, но ввиду удлинённой формы клубня его в список не включили, так как с учётом этого показателя он больше подходит для производства картофеля фри, а не хрустящего.

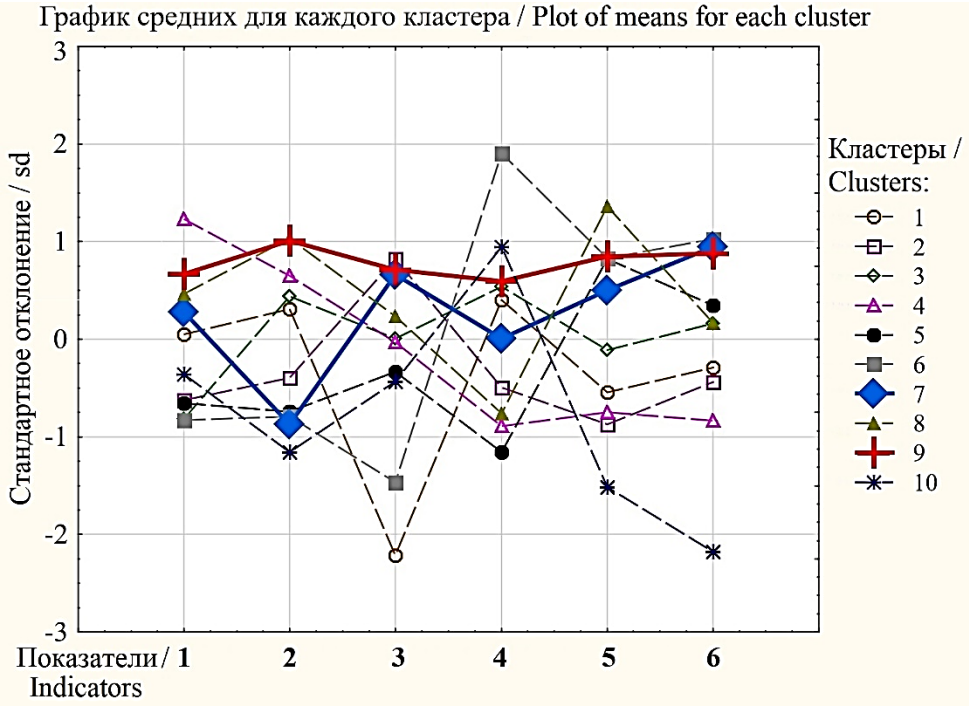


Рис. **Группировки сортов картофеля на 10 кластеров методом К-средних по показателям: 1 – урожайность картофеля, т/га; 2 – товарность клубней, %; 3 – выход здоровых клубней, %; 4 – содержание в клубнях крахмала, %; 5 – индекс редуцирующих сахаров; 6 – качество хрустящего картофеля, балл /**

Fig. **Grouping potato cultivars into 10 clusters using K-method according to the following indicators: 1 – potato yield, t/ha; 2 – tubers marketability, %; 3 – output of healthy tubers, %; 4 –starch content in tubers, %; 5 – index of reducing sugars; 6 – quality of chips, points**

Подобный метод кластеризации успешно применяли и в других работах, например, при изучении взаимосвязи геномных вариаций картофеля и его основных агрономических признаков [22]. Схожие подходы в оценке сортов картофеля отмечены в работе [23], однако акцент в ней делали на количественные показатели (динамика накопления урожая, товарность, вес товарного клубня, количество клубней на куст) и биохимический состав клубней без кластеризации сортов с учётом их пригодности к конкретным видам переработки.

Заключение. Установлено, что количественный выход сырья, пригодного для переработки на хрустящий картофель, определялся главным образом величиной осадков второй половины вегетации (влияние фактора по результатам дисперсионного анализа 56,3 %), а качество сырья – сортом (59,1 %). Из 58 изученных выделены и рекомендованы в производство

13 сортов картофеля, сочетающих высокие показатели урожайности (28,8–37,7 т/га), товарности (52,0–79,7 %), выхода здоровых клубней (95,5–99,6 %), содержания крахмала (14,3–19,3 %), индекса редуцирующих сахаров (2,0–3,2) и отличающихся высокой пригодностью к переработке на хрустящий картофель (6,0–8,3 балла): Александрит, Ариэль, Шах, Орлан, Розовый чародей, Ника, Евпатий, Кавалер, Каштак, Печорский, Принцесса Натаван, Спиридон, Чайка.

В ходе последующих научных исследований необходимо установить пригодность к переработке рекомендуемых сортов картофеля не только в осенне-зимний, но и в весенне-летний период, т. к. срок хранения, как самостоятельный фактор, также может существенно сказываться на физиологическом состоянии и биохимическом составе клубней.

Список литературы

1. Wang Zj., Liu H., Zeng Fk., Yang Y., Xu D., Zhao Y. et al. Potato Processing Industry in China: Current Scenario, Future Trends and Global Impact. Potato Research. 2023;66:543–562. DOI: https://doi.org/10.1007/s11540-022-09588-3

2. Li L., Zhu T., Wen L., Zhang T., Ren M. Biofortification of potato nutrition. Journal of Advanced Research. 2024; In Press, Corrected Proof. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jare.2024.10.033

3. El-Sayed A. A., El-Maaty S. M. A., Abdelhady M. M. Acrylamide reduction in potato chips as functional food product via application of enzymes, baker's yeast, and green tea powder. Scientific African. 2023;20:e01698. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01698

4. Liyanage D. W. K., Yevtushenko D. P., Konschuh M., Bizimungu B., Lu Z. X. Processing strategies to decrease acrylamide formation, reducing sugars and free asparagine content in potato chips from three commercial cultivars. Food Control. 2021;119:107452. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107452

5. Ştefan F. M., Chiru S. C., Iliev P., Ilieva I., Zhevora S. V., Oves E. V. et al. Chapter 21 – Potato production in Eastern Europe (Romania, Republic of Moldova, Russia and Hungary), Editor(s): Mehmet Emin Çalişkan, Allah Bakhsh, Khawar Jabran. In Potato Production Worldwide. Academic Press. 2023. pp. 381–395. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822925-5.00005-0

6. Osipov V. S., Zeldner A. G. Chapter 19 – Potato production in Russia and Ukraine, Editor(s): Mehmet Emin Çalişkan, Allah Bakhsh, Khawar Jabran. In Potato Production Worldwide. Academic Press. 2023. pp. 341–363. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822925-5.00023-2

7. Mukhametov A., Shamekova M., Dautkanova D., Kazhymurat A., Ilyassova G. Seed potato production regulatory framework established in top potato producing countries: Comparison of the GOST (Russia) and UNECE S-1 certification systems. Journal of Agriculture and Food Research. 2023;11:100520. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100520

8. Kawochar M. A., Cheng Y., Begum S., Wang E., Zhou T., Liu T. et al. Suppression of the tonoplast sugar transporter StTST3.2 improves quality of potato chips. Journal of Plant Physiology. 2022;269:153603. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153603

9. Mottram D. S., Wedzicha B. L., Dodson A. T. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. Nature. 2002;419:448–449. DOI: https://doi.org/10.1038/419448a

10. Téllez-Morales J. A., Arce-Ortiz A. Advances in the quality characteristics of fried potato products with air frying technology: a mini review. Sustainable Food Technology. 2024;2(5):1228–1234. DOI: https://doi.org/10.1039/d4fb00125g

11. Пшеченков К. А., Зейрук В. Н., Мальцев С. В., Белов Г. Л. Качество столового картофеля и продуктов его переработки в зависимости от сорта, типа почвы и условий хранения. Земледелие. 2018;(5):27–30. DOI: https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10507 EDN: XRTQIX

12. Iglesias-Carres L., Racine K. C., Chadwick S., Nunn C., Kalambur S. B., Neilson A. P., Ferruzzi M. G. Mechanism of off-color formation in potato chips fried in oil systems containing ascorbic acid as a stabilizer. LWT. 2023;179:114682. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114682

13. Прямов С. Б., Пшеченков К. А., Мальцев С. В., Колчин Н. Н. Эффективность уборки картофеля и овощей машинами разных типов. Картофель и овощи. 2012;(4):5.

14. Зейрук В. Н., Мальцев С. В., Васильева С. В., Бызов В. А. Современные производственные факторы, определяющие биологическую и экономическую эффективность хранения картофеля. Хранение и переработка сельхозсырья. 2019;(3):20–28. DOI: https://doi.org/10.36107/spfp.2019.177 EDN: PWWHYD

15. Мальцев С. В., Пшеченков К. А., Зейрук В. Н. Влияние химических и физических методов воздействия на клубни картофеля различного назначения при хранении. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: Междунар. научн.-практ. конф. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. С. 285–289. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=37004571 EDN: VUVVLC

16. Мальцев С. В., Андрианов С. В., Шишкова С. Г., Жевора С. В., Митюшкин А. В., Васильева С. В., Боярский Д. С. Продуктивность обработанного этиленом семенного картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в зависимости от условий выращивания. Сельскохозяйственная биология. 2024;59(5):1008–1019. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.5.1008rus EDN: ZLLJAS

17. Saini R., Kaur S., Aggarwal P., Dhiman A., Suthar P. Conventional and emerging innovative processing technologies for quality processing of potato and potato-based products: A review. Food Control. 2023;153:109933. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109933

18. Пшеченков К. А., Седова В. И., Шабанов А. Э., Мальцев С. В. В засушливое лето полив картофеля хорошо окупается. Картофель и овощи. 2008;(4):11.

19. Мальцев С. В. Об эффективности обработки семенных клубней картофеля этиленом. Сельскохозяйственная биология. 2021;56(1):44–53. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.1.44rus EDN: AUINQJ

20. Мальцев С. В., Пшеченков К. А. Сорта для получения картофеля быстрозамороженного и в вакуумной упаковке. Картофель и овощи. 2010;(8):7.

21. Lombardo S., Pandino G., Mauromicale G. The effect on tuber quality of an organic versus a conventional cultivation system in the early crop potato. Journal of Food Composition and Analysis. 2017;62:189–196. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.05.014

22. Lian Q., Zhang Y., Zhang J., Peng Z., Wang W., Du M. et al. A genomic variation map provides insights into potato evolution and key agronomic traits. Molecular Plant. 2025;18(4):570–589. DOI: https://doi.org/10.1016/j.molp.2025.01.016

23. Шанина Е. П., Клюкина Е. М., Беляева Н. В., Стафеева М. А., Келик Л. А., Ахметханов В. Ф. Испытание сортов картофеля различного целевого использования. Картофель и овощи. 2024;(1):39–43. DOI: https://doi.org/10.25630/PAV.2024.92.35.003 EDN: VKRFOX

References

1. Wang Zj., Liu H., Zeng Fk., Yang Y., Xu D., Zhao Y. et al. Potato Processing Industry in China: Current Scenario, Future Trends and Global Impact. Potato Research. 2023;66:543–562. DOI: https://doi.org/10.1007/s11540-022-09588-3

2. Li L., Zhu T., Wen L., Zhang T., Ren M. Biofortification of potato nutrition. Journal of Advanced Research. 2024; In Press, Corrected Proof. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jare.2024.10.033

3. El-Sayed A. A., El-Maaty S. M. A., Abdelhady M. M. Acrylamide reduction in potato chips as functional food product via application of enzymes, baker's yeast, and green tea powder. Scientific African. 2023;20:e01698. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01698

4. Liyanage D. W. K., Yevtushenko D. P., Konschuh M., Bizimungu B., Lu Z. X. Processing strategies to decrease acrylamide formation, reducing sugars and free asparagine content in potato chips from three commercial cultivars. Food Control. 2021;119:107452. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107452

5. Ştefan F. M., Chiru S. C., Iliev P., Ilieva I., Zhevora S. V., Oves E. V. et al. Chapter 21 – Potato production in Eastern Europe (Romania, Republic of Moldova, Russia and Hungary), Editor(s): Mehmet Emin Çalişkan, Allah Bakhsh, Khawar Jabran. In Potato Production Worldwide. Academic Press. 2023. pp. 381–395. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822925-5.00005-0

6. Osipov V. S., Zeldner A. G. Chapter 19 – Potato production in Russia and Ukraine, Editor(s): Mehmet Emin Çalişkan, Allah Bakhsh, Khawar Jabran. In Potato Production Worldwide. Academic Press. 2023. pp. 341–363. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822925-5.00023-2

7. Mukhametov A., Shamekova M., Dautkanova D., Kazhymurat A., Ilyassova G. Seed potato production regulatory framework established in top potato producing countries: Comparison of the GOST (Russia) and UNECE S-1 certification systems. Journal of Agriculture and Food Research. 2023;11:100520. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100520

8. Kawochar M. A., Cheng Y., Begum S., Wang E., Zhou T., Liu T. et al. Suppression of the tonoplast sugar transporter StTST3.2 improves quality of potato chips. Journal of Plant Physiology. 2022;269:153603. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153603

9. Mottram D. S., Wedzicha B. L., Dodson A. T. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. Nature. 2002;419:448–449. DOI: https://doi.org/10.1038/419448a

10. Téllez-Morales J. A., Arce-Ortiz A. Advances in the quality characteristics of fried potato products with air frying technology: a mini review. Sustainable Food Technology. 2024;2(5):1228–1234. DOI: https://doi.org/10.1039/d4fb00125g

11. Pshechenkov K. A., Zeyruk V. N., Maltsev S. V., Belov G. L. Quality of table potato and processed products depending on variety, soil type and storage conditions. *Zemledelie*. 2018;(5):27–30. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10507

12. Iglesias-Carres L., Racine K. C., Chadwick S., Nunn C., Kalambur S. B., Neilson A. P., Ferruzzi M. G. Mechanism of off-color formation in potato chips fried in oil systems containing ascorbic acid as a stabilizer. LWT. 2023;179:114682. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114682

13. Pryamov S. B., Pshechenkov K. A., Maltsev S. V., Kolchin N. N. Efficiency of potato and vegetable harvesting by different types of machines. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2012;(4):5. (In Russ.).

14. Zeyruk V. N., Maltsev S. V., Vasilyeva S. V., Byzov V. A. Modern Production Factors that Determine the Biological and Economic Efficiency of Potato Storage. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* = Storage and Processing of Farm Products. 2019;(3):20–28. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36107/spfp.2019.177

15. Maltsev S. V., Pshechenkov K. A., Zeyruk V. N. The effect of chemical and physical methods of influence on potato tubers of different purpose during storage. Radiation technologies in agriculture and food industry: state and prospects: International scientific and practical conference. Obninsk: *FGBNU VNIIRAE*, 2018. pp. 285–289. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=37004571

16. Maltsev S. V., Andrianov S. V., Shishkova S. G., Zhevora S. V., Mityushkin A. V., Vasilieva S. V., Boyarskiy D. S. Productivity of ethylene-treated seed potatoes (*Solanum tuberosum* L.) depending on growing conditions. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2024;59(5):1008–1019. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.5.1008rus

17. Saini R., Kaur S., Aggarwal P., Dhiman A., Suthar P. Conventional and emerging innovative processing technologies for quality processing of potato and potato-based products: A review. Food Control. 2023;153:109933. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109933

18. Pshechenkov K. A., Sedova V. I., Shabanov A. E., Maltsev S. V. In a dry summer, watering potatoes pays off well. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2008;(4):11. (In Russ.).

19. Maltsev S. V. Efficiency of ethylene application on seed potato tubers. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2021;56(1):44–53. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.1.44rus

20. Maltsev S. V., Pshechenkov K. A. Cultivars for obtaining of fast-frozen potato and potato in vacuum packing. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2010;(8):7. (In Russ.).

21. Lombardo S., Pandino G., Mauromicale G. The effect on tuber quality of an organic versus a conventional cultivation system in the early crop potato. Journal of Food Composition and Analysis. 2017;62:189–196. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.05.014

22. Lian Q., Zhang Y., Zhang J., Peng Z., Wang W., Du M. et al. A genomic variation map provides insights into potato evolution and key agronomic traits. Molecular Plant. 2025;18(4):570–589. DOI: https://doi.org/10.1016/j.molp.2025.01.016

23. Shanina E. P., Klyukina E. M., Belyaeva N. V., Stafeeva M. A., Kelik L. A., Akhmetkhanov V. F. Testing of potato varieties of different intended uses. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2024;(1):39–43. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25630/PAV.2024.92.35.003

Сведения об авторах

Шабанов Адам Эмирсултанович, доктор с.-х. наук, зав. отделом агротехнологий, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха», ул. Лорха, дом 23, литера «В», д. п. Красково, г. о. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: mail@potatocentre.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7703-0617**

✉ **Мальцев Станислав Владимирович**, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник отдела агротехнологий, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха», ул. Лорха, дом 23, литера «В», д. п. Красково, г. о. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: mail@potatocentre.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7211-315X,** e-mail: stanmalcev@yandex.ru

Абросимов Дмитрий Васильевич, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела агротехнологий, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха», ул. Лорха, дом 23, литера «В», д. п. Красково, г. о. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: mail@potatocentre.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6279-4972**

Соломенцев Павел Викторович, аспирант, научный сотрудник отдела агротехнологий, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха», ул. Лорха, дом 23, литера «В», д. п. Красково, г. о. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: mail@potatocentre.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9051-7139**

Information about the authors

Adam E. Shabanov, DSc in Agricultural Science, Head of the Department of Agricultural Technologies, Russian Potato Research Centre, 23 «B», Lorkh Street, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: mail@potatocentre.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7703-0617**

✉ **Stanislav V. Maltsev,** DSc in Agricultural Science, chief researcher, the Department of Agricultural Technologies, Russian Potato Research Centre, 23 «B», Lorkh Street, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: mail@potatocentre.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7211-315X,** e-mail: stanmalcev@yandex.ru

Dmitry V. Abrosimov, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Agricultural Technologies, Russian Potato Research Centre, 23 «B», Lorkh Street, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: mail@potatocentre.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6279-4972**

Pavel V. Solomentsev, postgraduate student, researcher, the Department of Agricultural Technologies, Russian Potato Research Centre, 23 «B», Lorkh Street, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: mail@potatocentre.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9051-7139**

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ / AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.618–627
УДК 631.5:631.6:911.2

(cc) BY

Прогноз урожайности и размещения посевов озимой ржи на землях, рекомендованных к освоению

© 2025. Д. А. Иванов✉, М. В. Рублюк, Н. А. Хархардинов
ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация

В работе выполнено прогнозирование урожайности озимой ржи в пределах хозяйства Тверской области на основе результатов мониторинга и архивных данных. Долговременный (1997–2022 гг.) мониторинг урожайности озимой ржи сорта Дымка и свойств почв проводили на агрополигоне «Губино», расположенном в пределах конечно-моренного холма на агроэкологической трансекте – производственном массиве, пересекающем его основные ландшафтные позиции. Рассчитывали математические модели зависимости урожайности ржи от ландшафтных факторов при различных погодных условиях. С помощью ГИС-системы данные моделирования переносили в условия генетически-однотипного с трансектой хозяйства. В работе показано, что максимальная урожайность ржи (3,4 т/га) зафиксирована при засухе в год уборки, при оптимальном увлажнении она снижается до 3,1 т/га, а при избыточном – до 2,5 т/га. В экстремальных климатических условиях (в годы засух или избытка осадков) максимальное влияние на урожай ржи оказывает вариабельность высотных отметок в пределах поля, тогда как при оптимальном увлажнении ее продуктивность в основном зависит от агрохимических свойств почв. Важнейшим результатом прогнозирования урожайности являются синтетические карты, на которых отражены ареалы различного влияния агроклиматических обстановок на урожайность культуры – на их основе землепользователь может сделать корректные выводы о пригодности к выращиванию ржи на той или иной территории.

Ключевые слова: *агроландшафт, прогноз, урожайность ржи, статистический анализ, ГИС-системы*

***Благодарности*:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева» (тема FGUR-2022-0017).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Иванов Д. А., Рублюк М. В., Хархардинов Н. А. Прогноз урожайности и размещения посевов озимой ржи на землях, рекомендованных к освоению. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):618–627. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.618-627

Поступила: 24.01.2025 Принята к публикации: 18.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Forecast of yield and placement of winter rye crops on lands recommended for development

© 2025. Dmitriy A. Ivanov✉, Maria V. Rublyuk, Nikita A. Kharkhardinov
Federal Research Center V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

The paper presents a forecast of the winter rye yield on a farm of Tver region based on monitoring results and archival data. Long-term (1997–2022) monitoring of the yield of 'Dymka' winter rye cultivar and soil properties was conducted at the Gubino agricultural testing grounds within the terminal moraine hill, on an agro-ecological transect - production area intersecting its main landscape positions. Mathematical models of the dependence of rye yield on landscape factors under various weather conditions were calculated. Using a GIS system, the modeling data were transferred to the conditions of a farm genetically identical to the transect. The paper shows that the maximum rye yield (3.4 t/ha) was recorded during the drought in the year of harvesting, with optimal moisture it decreases to 3.1 t/ha, and with excess moisture – to 2.5 t/ha. In extreme climatic conditions (in years of drought or excess precipitation), the maximum impact on the rye yield is exerted by the variability of elevation marks within the field, whereas with optimal moisture, its productivity mainly depends on the agrochemical properties of the soil. The most important result of yield forecasting are synthetic maps that reflect the areas of different influence of agroclimatic conditions on crop yield. On the basis of these maps the land user can make correct conclusions about the suitability for growing rye in a particular area.

Keywords: *agrolandscape, forecast, rye yield, statistical analysis, GIS systems*

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 V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (theme No. FGUR-2022-0017).

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

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

For citation: Ivanov D. A., Rublyuk M. V., Kharkhardinov N. A. Forecast of yield and placement of winter rye crops on lands recommended for development. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):618–627. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.618-627

Received: 24.01.2025 Accepted for publication: 18.06.2025 Published online: 30.06.2025

Озимая рожь – традиционно одна из важнейших культур для районов Нечерноземной зоны нашей страны. Она богата полезными для человека веществами [1]. Озимая рожь характеризуется низкой требовательностью к условиям среды. Для ее развития оптимальна температура 7–11 °С. Рожь устойчива к засухе, однако для нее важно достаточное количество влаги в почве осенью, иначе в зиму растения уйдут слабо раскустившимися. Избыток же воды является причиной гибели части посевов.

К почвам озимая рожь менее требовательна, чем все остальные зерновые колосовые. Хорошо произрастает на дерново-подзолистых почвах. Ее корневая система способна лучше, чем других культур, использовать фосфор из почвы, хотя по усвоению калия она уступает овсу. Растению необходимы калий и фосфор. Азот играет важную роль в ее формировании, но его избыток провоцирует полегание. По данным Л. В. Шалаевой [2], в 2021 г. уменьшился валовой сбор озимой ржи (- 827 тыс. тонн, или 32,44 %), в расчете на душу населения сокращение составило 5 кг, или 32,01 %, вследствие уменьшения площади посевов на 170 тыс. га (19,88 %). Ежегодные колебания ее урожайности достигают 20–30 %[1]. За счет увеличения посевной площади ржи – лучшей зерновой культуры по зимостойкости, кислото- и засухоустойчивости, наиболее адаптивной для регионов со сложными природно-климатическими условиями [3], а также повышения уровня использования минеральных и органических удобрений возможно решение обозначенной проблемы [2, 4, 5]. Увеличение посевных площадей под рожью во многом обусловлено темпами вовлечения заброшенных земель в сельскохозяйственный оборот, площадь которых в стране достигает 44 млн га, при этом 20 млн га бывшей пашни, из которых можно эксплуатировать 12 млн га[2] [6]. Использование заброшенных земель должно вестись на основе адаптивно-ландшафтных подходов, предполагающих экологически обусловленное размещение посевов культур для раскрытия их биологического потенциала и затухания деградационных процессов в природном комплексе [7, 8, 9].

Для осуществления адаптивно-ландшафтного подхода необходим мониторинг урожайности культур и динамики факторов природной среды на агроэкологических полигонах. При статистическом анализе его данных выявляются факторы, влияющие на продуктивность, и создаются математические модели, описывающие адаптивные реакции растения на изменчивость природной среды [10, 11, 12]. На основе моделей и ГИС-технологий производится прогнозирование «поведения» растения (изменения его урожайности) в пределах участков, которые расположены в аналогичных с агроэкологическим полигоном ландшафтных условиях. Анализ карт прогнозной урожайности позволит определить места с различными технологическими возможностями и решить вопрос о перспективах их освоения [13, 14].

В нашей работе выполнено прогнозирование урожайности озимой ржи для условий ликвидированного хозяйства Тверской области на основе результатов мониторинга ее урожайности на агрополигоне, расположенном в его пределах.

Цель исследований – оценка потенциальной (без применения удобрений) пригодности земель хозяйства для выращивания ржи при прогнозировании ее урожайности на основе мониторинговых данных, математического моделирования и ГИС-технологий.

Научная новизна – определение возможности прогнозирования урожайности озимой ржи в пределах хозяйства на базе архивных данных (агрохимических картограмм, карты почв и рельефа) без привлечения средств на дополнительное обследование его территории.

Материал и методы. В работе использовали данные длительного мониторинга (1998–2022 гг.) урожайности озимой ржи (*Secale cereale* L.) сорта Дымка на агрополи-

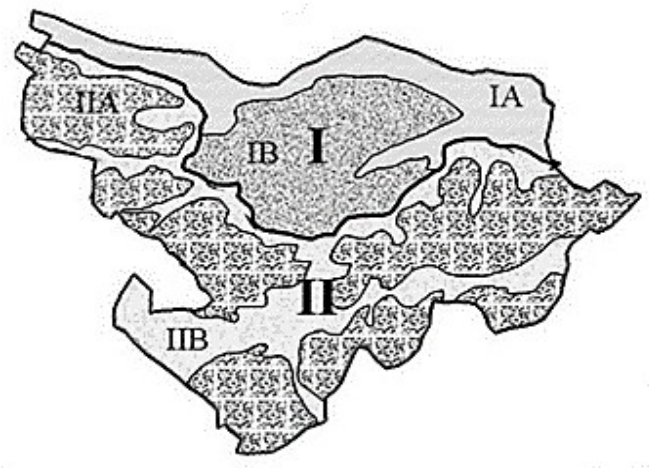
[1]Рожь – стратегическая зерновая культура в обеспечении продовольственной безопасности России. [Электронный ресурс]. URL: https://sfera.fm/articles/hlebopecheniya/rozh-strategicheskaya-zernovaya-kultura-v-obespechenii-prodovolstvennoi-bezopasnosti-rossii?ysclid=lcvxjsvwb8236690263 (дата обращения: 06.01.2023).

[2]Михайлова А. Непаханое поле: стоит ли возвращать в оборот залежные земли. Агроинвестор. 24 октября 2020. URL: https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/34684-nepakhanoe-pole-stoit-li-vozvrashchat-v-oborot-zalezhnye-zemli/ (дата обращения: 15.02.2024).

гоне «Губино», расположенном на моренном холме в 4 км к востоку от г. Тверь. Холм с относительной высотой 15 м состоит из плоской вершины, пологих (2–5°) склонов и межхолмных депрессий. Почвенный покров – вариация-мозаика дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв, образованных на двучленных отложениях – песчано-супесчаная толща подстилается закамененной мореной на разной глубине. На юге полигона мощность флювиогляциального наноса местами превышает 1,5 м – почвы здесь преимущественно песчаные. На вершине и северном склоне поверхностные слои сложены супесью и иногда легким суглинком, мощность кроющего наноса колеблется около 1 м, а в депрессии на севере морена изредка выходит на дневную поверхность. Наблюдения проводили на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – массиве, пересекающем все микроландшафтные позиции (подурочища) конечно-моренного холма: транзитно-аккумулятивные депрессии; транзитные средних частей склонов; элювиально-транзитные верхних частей склонов; элювиально-аккумулятивное вершины. Трансекта состоит из десяти параллельных полосполей, каждая из которых занята определенной культурой. В пределах конкретной полосы технологическое воздействие однотипно, что позволяет изучать влияние ландшафтных условий на культуры в наименее искаженном виде. Поля имеют ширину 7,2 м, длину – 1300 м. Определение урожайности ржи осуществляли в 30 точках, регулярно расположенных вдоль трансекты на расстоянии 40 м друг от друга в 4-кратной повторности. Площадь учетной площадки – 20 м^2.

Под рожь удобрения не вносили (экстенсивная технология), за исключением подкормки в фазу кущения аммиачной селитрой в дозе 1 ц/га (N_{30} д. в./ га). В работе исследовали влияние факторов рельефа (абсолютной высоты, крутизны и кривизны поверхности, интенсивности солнечной радиации) и показателей агрохимических свойств почв: гумус (по Тюрину); pH_{KCL}; подвижный фосфор (по Кирсанову); обменный калий (по Кирсанову), определяемых в вышеописанных точках опробования, т. к. только эти параметры известны для территории хозяйства (ОПХ «Заветы Ленина» Калининского района Тверской области).

Прогнозное хозяйство, где размещен агрополигон «Губино», прекратило хозяйственную деятельность в конце 90-х годов и было юридически ликвидировано в 2006 году. Общая его площадь составляла 6312 га, сельхозугодий – 4923 га, пашни – 3394 га. Территория ОПХ в агроэкологическом отношении может быть поделена на две части (рис. 1).



I – Зандрово-аллювиальная равнина / Zandro-alluvial plain
II – Водно-ледниковая равнина / Water-glacial plain
IA – Долины рек / River valleys
IB – Зандровая равнина / Zander plain
IIA – Конечно-моренные холмы / Finite-moraine hills
IIB – Межхолмные депрессии / Interhill depressions

Рис. 1. **Карта-схема ландшафтного устройства ОПХ «Заветы Ленина» /**
Fig. 1. **Map-scheme of the landscape arrangement of the experimental production farm "Zavety Lenina"**

1. Долинный ландшафт на севере хозяйства, занимающий 29,2 % его площади, образован русловыми процессами. Рельеф его плоский, осложненный останцами гривистых зандров, сложенных аллювиальными отложениями различного возраста, гранулометрического состава и занятых сосновым бором (I). Доминантная местность – современная долина р. Волги (IA).

2. Ландшафт моренно-ледниковой равнины, занимающий центральные и южные части хозяйства, образован флювиогляциальными процессами, происходившими при отступании

Московского ледника (II). Он расположен на 70,8 % площади ОПХ, рельеф волнисто-увалистый с перепадами высот до 30 м. Почвообразующие породы – двучлены разной мощности, образованные флювиогляциальными песками и супесями, подстилаемыми завалуненной карбонатной мореной. Ландшафт образован одной местностью волнисто-увалистой равнины, которая, в свою очередь, состоит из сложных урочищ моренных холмов (IIA). Доминантными подурочищами здесь являются транзитные геокомплексы, субдоминантными – транзитно-аккумулятивные геосистемы (IIB).

Агроэкологическая трансекта, расположенная в полосе перехода моренно-ледниковой равнины к долинному геокомплексу, генетически однотипна ландшафтам, составляющим территорию ОПХ.

На основании архивных материалов ОПХ и института (материалы обследования Гипрозема и Гипроводхоза, агрохимической службы Тверской области, данные по опытным участкам Всероссийского НИИ мелиорированных земель) были составлены цифровая модель рельефа (ЦМР) хозяйства, агрохимические картограммы, почвенные и ландшафтные карты. В пределах ОПХ выбраны 60 равномерно расположенных опорных точек, для каждой из которых определены все вышеуказанные параметры.

Статистическую и графическую обработку данных мониторинга и прогноз осуществляли с помощью пакетов программ Statgraphic+19, Excel 19, Statistica и геоинформационной системы ArcGIS 10. Степень влияния ландшафтных факторов на урожайность ржи вычисляли на основе метода Н. А. Плохинского путем деления частной факториальной суммы квадратов на общую[3].

Результаты и их обсуждение. За годы наблюдений средняя урожайность озимой ржи на трансекте составила 2,9 т/га, колебание по годам – от 2,0 до 3,6 т/га. Предположение, что оно обусловлено изменением агроклиматической обстановки в год уборки урожая [15, 16] позволило все годы исследований разделить на три группы: 1. Сухие условия – годы уборки с ГТК по Селянинову <1, вероятность их возникновения – 23 %. 2. Оптимальные условия – ГТК 1,0…1,5, возникающие в 62 % случаев. 3. Влажные условия – ГТК>1,5 встречаются наиболее редко (15 %). Результаты статистической обработки данных урожайности ржи по группам лет показаны на рисунке 2.

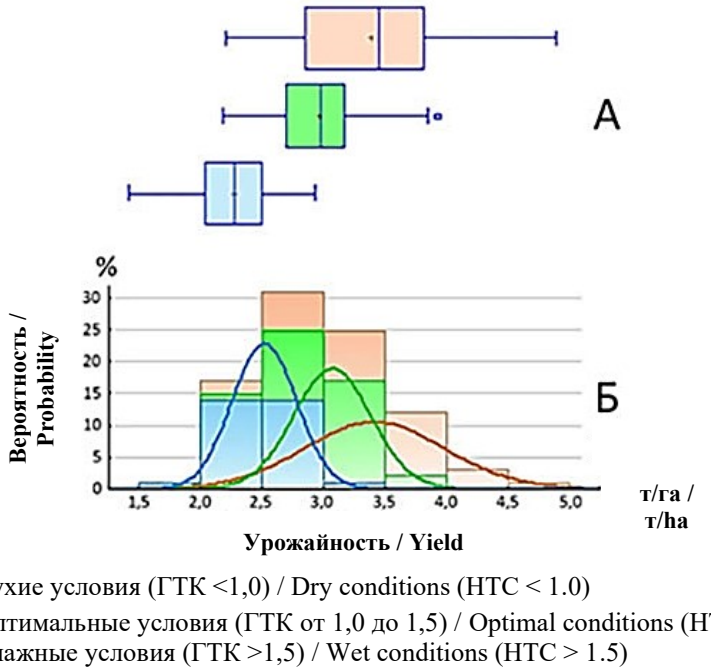


Рис. 2. **Результаты статистической обработки данных по урожайности озимой ржи в пределах трансекты в различных агроклиматических условиях /**

Fig. 2. **Results of statistical processing of data on winter rye yield within the transect in various agroclimatic conditions**

[3]Плохинский Н. А. Биометрия. М.: МГУ, 1970. 367 с. URL: https://djvu.online/file/GePtUfYfyhJ95

Максимальная урожайность культуры (3,4 т/га) получена при сухих условиях в год уборки, по мере увеличения ГТК она снижалась – при оптимальных условиях увлажнения она достигала 3,1 т/га, а при влажных – 2,5 т/га. Различия статистически достоверны – $НСР_{05}$ = 0,2 т/га. В сухие годы отмечена максимальная пространственная изменчивость урожайности (CV =16,8 %), в оптимальные и влажные годы она снижается (10,3 и 10,4 % соответственно) (рис. 2А). На рисунке 2Б показаны гистограммы распределения урожайности ржи в различных погодных условиях. Видно, что при недостатке влаги наибольшие площади в агроландшафте занимают ареалы с урожайностью от 2,5 до 3,5 т/га, а увеличение ГТК приводит к преобладанию ареалов с урожайностью от 2,0 до 3,0 т/га.

Мультирегрессионный анализ показывает изменение характера адаптивных реакций ржи на ландшафтные условия при изменении ГТК. В сухую погоду урожайность зерна достоверно зависит от плодородия почвы и условий рельефа. Уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$Урожай = 8{,}30818_{pH} - 0{,}785061_{Калий} - 0{,}102307_{Фосфор} + \\ + 0{,}00118811_{Солнечная\ радиация} + 2{,}1011_{Высота\ местоположения} - 755{,}916. \quad (1)$$

$R^2 = 54{,}3\ \%$, $p = 0{,}0001$.

Максимальное влияние на урожай ржи в этих условиях оказывает высота местоположения – она определяет 49,0 % его пространственной вариабельности, суммарное влияние остальных предикторов составляет 5,3 %.

Прямая пропорциональная зависимость урожайности от высоты позволяет предположить, что при засухе наилучшие условия для культуры складываются на плоских вершинах холмов, характеризующихся наибольшей освещенностью и относительно высокими запасами продуктивной влаги, вследствие медленного (элювиального) оттока влаги из почвенного профиля. Следует также отметить и лучшие условия для перезимовки культуры. Влияние топографии местности на урожай ржи описано и другими учеными [17, 18].

В оптимальные по увлажнению годы максимальное влияние на урожайность ржи оказывает содержание фосфора в почве. Уравнение регрессии при этом принимает вид:

$$Урожай = \sqrt{(191{,}549 \ln_{фосфор} + 300{,}878)}. \quad (2)$$

$R^2 = 24{,}3\ \%$, $p = 0{,}0006$.

В условиях года уборки урожая с ГТК несколько выше 1 в значительной степени проявляется влияние агрофона на продуктивность ржи, в то время как рельефные факторы не оказывают на нее существенного воздействия. При усилении осадков влияние высоты местоположения вновь становится определяющим. Уравнение регрессии для этих условий выглядит следующим образом:

$$Урожай = \sqrt{(0{,}0959546_{Высота\ местоположения^2} - 1630{,}31)}. \quad (3)$$

$R^2 = 42{,}6\ \%$, $p = 0{,}002$.

Можно сказать, что в экстремальных климатических условиях характеристики рельефа оказывают определяющее влияние на урожайность культуры, потому что плоские вершины холмов в сухие годы сохраняют значительное количество влаги, так как в их пределах господствует ее медленный элювиальный отток, а во влажные не испытывают крайнего переувлажнения вследствие относительно низкого стояния грунтовых вод [19].

Среднее, минимальное и максимальное значения агрохимических показателей по точкам опробования за годы наблюдений в пределах трансекты составили: $pH_{сол}$ – 5,52 единиц (от 4,69 до 6,07); содержание гумуса 2,72 % (от 1,9 до 3,38); фосфора – 386 мг/кг (от 182 до 939); калия – 123 мг/кг (от 70,7 до 193). Почвы ОПХ на момент прекращения деятельности характеризовались следующими показателями: $pH_{сол}$ – 5,48 (от 4,3 до 6,8), гумус – 1,83 % (от 0,7 до 4,0), фосфор – 149 мг/кг (от 37 до 305), калий – 90 мг/кг (от 8 до 241). Только по кислотности почв отсутствуют достоверные различия между трансектой и хозяйством. В почвах трансекты достоверно больше гумуса ($НСР_{05}$ = 0,27 %), фосфора ($НСР_{05}$ = 60 мг/кг) и калия ($НСР_{05}$ = 18,4 мг/кг). За годы исследований произошла некоторая трансформация агрохимических свойств почв в пределах агрополигона. Нами установлено заметное подкисление почв с 5,73 до 5,39 ед. ($НСР_{05}$ = 0,22) и снижение содержания подвижного фосфора с 504 до 202 мг/кг ($НСР_{05}$ =128 мг/кг). Агрохимические свойства почв трансекты и хозяйства несколько сблизились – исчезли достоверные различия по фосфору. Агрофон почв хозяйства, вероятно, претерпевал подобные изменения, хотя и в меньшей степени, так как здесь не было отчуждения элементов питания с урожаем. Это позволило нам переносить закономерности, полученные на трансекте, в условия прогнозного хозяйства.

В среде EXCEL, на основе уравнений 1–3, был проведен расчёт прогнозной урожайности ржи для условий хозяйства, а с помощью геоинформационной системы проведена визуализация результатов прогноза. На рисунке 3 изображены прогнозные поверхности урожайности озимой ржи в пределах ОПХ при различных агроклиматических условиях начала XXI века. Следует отметить, что с этого времени, по-видимому, произошли определенные трансформации агрохимических свойств почв, однако, на основе литературных данных [20] можно утверждать, что общий характер их пространственной пестроты изменился несущественно и, поэтому информация, получаемая на основе рисунка 3, актуальна и сейчас.

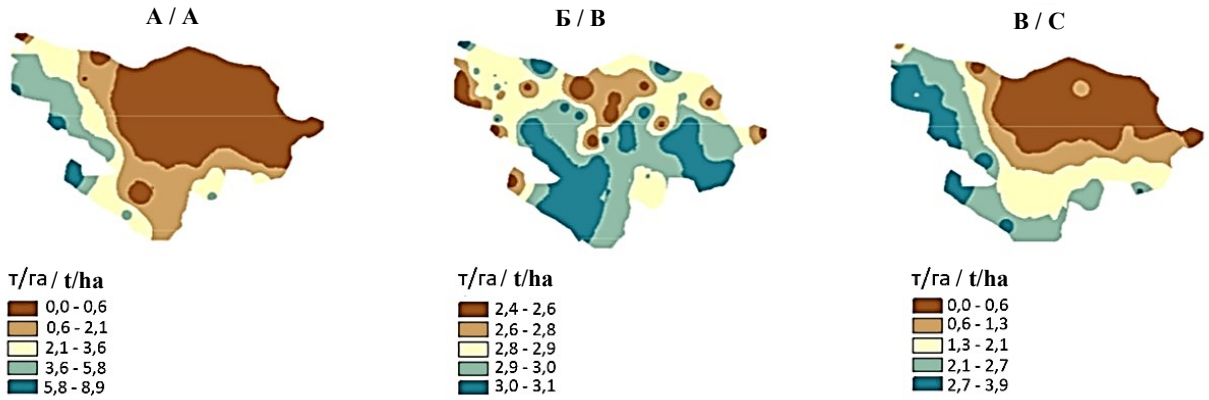


Рис. 3. **Карты-схемы прогнозной урожайности озимой ржи в пределах прогнозного хозяйства для различных агроклиматических условий: А – ГТК <1,0; Б – ГТК от 1 до 1,5; В – ГТК >1,5 /**
Fig. 3. **Maps-schemes of the predicted yield of winter rye within the forecast farm for various agroclimatic conditions: A – HTC <1.0; B – HTC from 1 to 1.5; C – HTC >1.5**

Экстремальные агроклиматические обстановки (3А – ГТК <1 и 3В – ГТК >1,5) обусловливают создание достаточно однотипных прогнозных поверхностей урожайности ржи – ареалы с максимальной урожайностью сосредоточены на западе и юге хозяйства – в местах, занятых моренно-ледниковой равниной, в то время как в пределах зандровой равнины и долин рек наблюдается значительное понижение урожайности. Это объясняется тем, что основным фактором, определяющим урожайность культуры в этих условиях, является высота местоположения, а гипсометрические отметки моренно-ледниковой равнины заметно выше, чем зандров и долин. Однако различия в уравнениях регрессии определяет и индивидуальные черты моделей – в экстремально сухие годы прогнозная урожайность ржи в пределах хозяйства может колебаться от 0 до 9 т/га (средневзвешенное значение – 1,5 т/га), а во влажных условиях – 0–4,0 т/га (1,4 т/га). При оптимальном увлажнении (3Б) поверхность отклика радикально изменяется, вследствие смены основного предиктора – максимальная урожайность будет наблюдаться в центре, на востоке и юге хозяйства – в местах, где почвы относительно обогащены фосфором, вследствие близости к поверхности карбонатной морены, характеризующейся повышенным содержанием этого элемента. Пространственное колебание урожайности будет незначительным – от 2,4 до 3,1 т/га, а средневзвешенное – весьма высоким – 2,9 т/га вследствие того, что ареалы с повышенной урожайностью ржи в этих условиях занимают больше половины площади хозяйства. Следует отметить, что в эти годы можно получать относительно высокие урожаи ржи, даже в пределах зандровой равнины и в долинах рек.

Карты-схемы, изображенные на рисунке 3, не могут дать надежной информации для землепользователя, так как долгосрочные метеопрогнозы в настоящее время недостаточно достоверны [21]. Вышеприведенные прогнозные данные могут принести ощутимую пользу только в случае создания синтетической карты, показывающей ареалы наиболее оптимальные для произрастания культуры – территории, где озимая рожь будет устойчиво продуктивной при различных метеоусловиях. Такая карта может быть создана при наложении карт-схем, изображенных на рисунке 3, в среде ARCGIS (рис. 4).

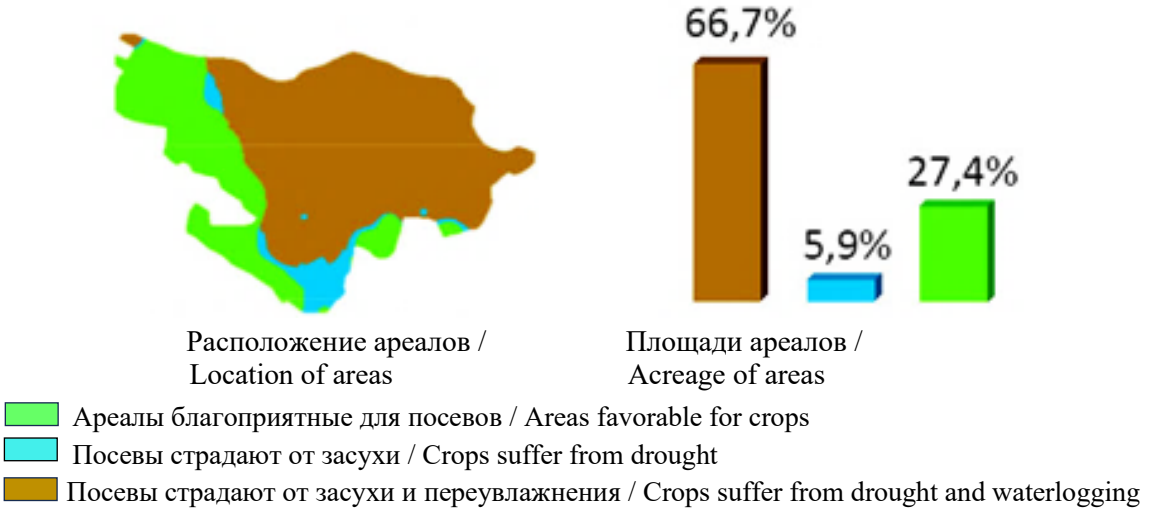


Рис. 4. **Зонирование земель прогнозного хозяйства по пригодности к выращиванию озимой ржи /**
Fig. 4. **Zoning of lands of the forecast farm by suitability for winter rye cultivation**

Анализ рисунка 4 показывает, что только на западе и частично юге хозяйства, на территории с номинальной (рассчитанной от всей площади хозяйства) площадью 1730 га (27,4 %), возможно получение урожайности озимой ржи более 2,0 т/га практически независимо от погодных условий года уборки. На большей части территории ОПХ (4215 га, 66,7 %) продуктивность ржи будет сильно колебаться по годам, что не позволяет рекомендовать использование этого ареала под посевы культуры. В ареалах на западе и юге хозяйства, с общей площадью 372 га (5,9 %), прогнозируется резкое снижение урожайности в засушливые годы, что следует учитывать при проектировании севооборотов.

Выводы. Мониторинговые исследования выявили значительное влияние агроклиматической обстановки года уборки урожая на продуктивность озимой ржи. Максимальная ее урожайность (3,4 т/га) зафиксирована при засухе в год уборки, при оптимальном увлажнении она снижается до 3,1 т/га, а при избыточном – до 2,5 т/га. Регрессионный анализ показал, что в экстремальных климатических условиях (в годы засух или избытка осадков) максимальное влияние на урожай ржи оказывает вариабельность высотных отметок в пределах поля, тогда как при оптимальном увлажнении ее продуктивность в основном зависит от агрохимических свойств почв.

Итоги прогноза урожайности культуры в условиях земель, рекомендованных к освоению, не обязательно совпадают с характером моделей, полученных на основе мониторинга, так как природные условия прогнозного хозяйства не идентичны трансектным – различия в соотношении площадей подурочищ на тестовом и прогнозном участках приводит к особенностям изменения средневзвешенных урожайностей ржи в пределах бывшего ОПХ в зависимости от агроклимата – в отличие от трансекты. В пределах прогнозного хозяйства максимальная урожайность может быть достигнута лишь в условиях оптимального увлажнения (2,9 т/га), в сухие и влажные годы средневзвешенная урожайность ржи, по прогнозу, не должна превышать 1,5 т/га.

Результаты прогнозирования урожайности в пределах заброшенных земель нельзя использовать буквально – как любой прогноз они носят вероятностный характер вследствие, во-первых, стохастической природы моделей, полученных на основе мониторинговых данных (вероятности наступления различных агроклиматических обстановок не равны), во-вторых, отсутствия современных данных агрохимического состояния почв прогнозного хозяйства. Наибольшую ценность представляют собой синтетические карты, на которых отражены ареалы различного влияния агроклиматических обстановок на урожайность культуры (установлено, что в условиях прогнозного хозяйства на территории 1730 га, возможно получение урожаев озимой ржи более 2,0 т/га независимо от погодных условий, а на площади 4215 га продуктивность ржи будет сильно колебаться по годам) – на их основе землепользователь может сделать достаточно полезные выводы о потенциальной (без внесения удобрений) пригодности той или иной территории к выращиванию конкретной культуры на землях, рекомендованных к освоению.

Список литературы

1. Jonsson K., Andersson R., Bach Knudsen K., Hallmans G., Hanhineva K., Katina K. et al. Rye and health - Where do we stand and where do we go? Trends in Food Science and Technology. 2018;79:78–87. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.018

2. Шалаева Л. В. Оценка тенденций производства и потребления ржи в Российской Федерации в разрезе основных факторов и категорий хозяйств. Продовольственная политика и безопасность. 2023;10(3):453–470. DOI: https://doi.org/10.18334/ppib.10.3.117097 EDN: HSWPXF

3. Исмагилов Р. Р., Абдуллоев В. Х. Кормовые качества зерна озимых зерновых культур в южной лесостепи республики Башкортостан. Пермский аграрный вестник. 2021;(1):35–43. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_33_35 EDN: BMNNGM

4. Мелешкина Е. П., Бундина О. И. Производство, переработка и потребление зерна ржи в России: направления развития. Пищевая промышленность. 2020;(12):55–59. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10144 EDN: XEYKSE

5. Шамин А. Е., Заикин В. П., Лисина А. Ю. Производство зерна в России: достижения, существующие и возможные проблемы. Вестник НГИЭИ. 2022;(3):110–121. DOI: https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-3-110-121 EDN: ZXTJAV

6. Шилов П. М., Козлов Д. Н. Почвенно-агроэкологическая оценка пахотно-пригодности земель Валдайской возвышенности по материалам генерального межевания. Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019;(98):5–36. DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-5-36 EDN: OORMRZ

7. Андрющенко С. А. Тенденции и условия повышения экологической устойчивости АПК Российской Федерации. Международный сельскохозяйственный журнал. 2023;(2(392)):143–146. DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2023_66_2_14 EDN: FGIDIZ

8. Шалов Т. Б., Азубеков Л. Х. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия в схеме землеустройства территории сельского поселения. Земледелие. 2013;(6):28–29. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=20446181 EDN: RFLAHT

9. Alaoui A., Barão L., Carla S., Ferreira S., Hessel R. An Overview of Sustainability Assessment Frameworks in Agriculture Land. 2022;11(4):537. DOI: https://doi.org/10.3390/land11040537

10. Иванов Д. А. Влияние почв и рельефа на продуктивность разновозрастных травостоев. Международный сельскохозяйственный журнал. 2021;(4(382)):73–76. DOI: https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-4-73-76 EDN: WQYYGX

11. Садовая И. И., Захарова О. А., Черкасов О. В., Мусаев Ф. А., Фатьянов С. О. Долгосрочное прогнозирование урожайности овса и озимой ржи в севообороте на основе расчетов имитационной модели агроэкосистемы. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2022;14(2):80–87. DOI: https://doi.org/10.36508/RSATU.2022.54.2.010 EDN: HFWTOQ

12. Иванов Д. А., Рублюк М. В., Анциферова О. Н. Прогнозирование размещения посевов льна на основе данных мониторинга и гис-технологий. Земледелие. 2023;(7):3–6. DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-7-3-6 EDN: NFSNSJ

13. Иванов Д. А., Рублюк М. В., Хархардинов Н. А. К вопросу об адаптивно-ландшафтном обустройстве заброшенных земель на основе результатов прогнозирования урожайности ячменя. Российская сельскохозяйственная наука. 2023;(5):27–33. DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262723050058 EDN: PKYHZO

14. Иванов Д. А., Соловьев Д. А., Рублюк М. В., Карасева О. В., Хархардинов Н. А. Оценка пригодности заброшенных земель к возделыванию овса на основе прогнозирования его урожайности по данным долговременного мониторинга (на примере конкретного хозяйства). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):623–635. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.623-635 EDN: LCDXOJ

15. Пономарев С. Н. Обоснование потенциальной урожайности озимой ржи по обеспеченности республики Татарстан климатическими ресурсами. Современные проблемы науки и образования. 2013;(6):970. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=21163406 EDN: RVDCDN

16. Chmielewski F. M., Köhn W. Impact of weather on yield components of winter rye over 30 years. Agricultural and Forest Meteorology. 2000;102(4):253–261.

17. Leuthold S. J., Salmerón M., Wendroth O., Poffenbarger H. Cover crops decrease maize yield variability in sloping landscapes through increased water during reproductive stages. Field Crops Research. 2021;265:108111. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108111

18. Singh G., Dhakal M., Kaur G., E. J. Schoonover, Williard K. W. J. Cover crops and landscape positions mediate corn–soybean production. Agrosystems, Geosciences & Environment. 2022;5(2):e20249. DOI: https://doi.org/10.1002/agg2.20249

19. Иванов Д. А., Абрамов В. А. Динамика уровня почвенно-грунтовых вод в пределах агроландшафта. Мелиорация и водное хозяйство. 2014;(4):7–9. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=21994913 EDN: SNIENX

20. Сидорова В. А. Динамика пространственного варьирования почвенных свойств луговых агроценозов Карелии при постантропогенном развитии. Российский журнал прикладной экологии. 2016;(3):23–27. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=27345326 EDN: XAKIRB

21. Frank P. Propagation of Error and the Reliability of Global Air Temperature Projections. Frontiers in Earth Science. 2019;7:223. DOI: https://doi.org/10.3389/feart.2019.00223

References

1. Jonsson K., Andersson R., Bach Knudsen K., Hallmans G., Hanhineva K., Katina K. et al. Rye and health - Where do we stand and where do we go? Trends in Food Science and Technology. 2018;79:78–87. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.018

2. Shalaeva L. V. Trends in rye production and consumption in russia in the context of the main factors and farm categories. *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'* = Food Policy and Security. 2023;10(3):453–470. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18334/ppib.10.3.117097

3. Ismagilov R. R., Abdulloev V. Kh. Feed quality of winter cereal crops in the southern forest-steppe of the republic of Bashkortostan. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2021;(1):35–43. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_33_35

4. Meleshkina E. P., Bundina O. I. Production, processing and consumption of rye grain in Russia: directions of development. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2020;(12):55–59. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10144

5. Shamin A. E., Zaikin V. P., Lisina A. Yu. Grain production in Russia: achievements, existing and possible problems. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2022;(3):110–121. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-3-110-121

6. Shilov P.M., Kozlov D.N. Soil-agro-ecological assessment of the arable land of the Valdai upland based on the general survey. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* = Dokuchaev Soil Bulletin. 2019;(98):5-36. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-5-36

7. Andryushchenko S. A. Trends and conditions for improving the environmental sustainability of the agro-food complex of the Russian Federation. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2023;(2(392)):143–146. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2023_66_2_14

8. Shalov T. B., Azubekov L. Kh. Adaptive-landscape systems of farming in the scheme of land management territory of rural settlements. *Zemledelie*. 2013;(6):28–29. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=20446181

9. Alaoui A., Barão L., Carla S., Ferreira S., Hessel R. An Overview of Sustainability Assessment Frameworks in Agriculture Land. 2022;11(4):537. DOI: https://doi.org/10.3390/land11040537

10. Ivanov D. A. Influence of soils and relief on productivity of various herbs. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2021;(4(382)):73–76. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-4-73-76

11. Sadovaya I. I., Zakharova O. A., Cherkasov O. V., Musaev F. A., Fat'yanov S. O. Statistical studies of barley production in Ryazan region and the forecast of crop productivity. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva* = Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev. 2022;14(2):80–87. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36508/RSATU.2022.54.2.010

12. Ivanov D. A., Rublyuk M. V., Antsiferova O. N. Forecasting the placement of flax crops based on monitoring data and gis technologies. *Zemledelie*. 2023;(7):3–6. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-7-3-6

13. Ivanov D. A., Rublyuk M. V., Kharkhardinov N. A. On the issue of adaptive landscape development of useless lands based on the results of barley yield forecasting. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2023;(5):27–33. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262723050058

14. Ivanov D. A., Solovyov D. A., Rublyuk M. V., Karaseva O. V., Kharhardinov N. A. Assessment of suitability of abandoned lands for oats cultivation based on the forecast of the yield according to long-term monitoring data (the case of a specific farm). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):623-635. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.623-635

15. Ponomarev S. N. Rationale for potential yield of winter rye on provision of cli-mate resources Tatarstan republic. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education. 2013;(6):970. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=21163406

16. Chmielewski F. M., Köhn W. Impact of weather on yield components of winter rye over 30 years. Agricultural and Forest Meteorology. 2000;102(4):253–261.

17. Leuthold S. J., Salmerón M., Wendroth O., Poffenbarger H. Cover crops decrease maize yield variability in sloping landscapes through increased water during reproductive stages. Field Crops Research. 2021;265:108111. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108111

18. Singh G., Dhakal M., Kaur G., E. J. Schoonover, Williard K. W. J. Cover crops and landscape positions mediate corn–soybean production. Agrosystems, Geosciences & Environment. 2022;5(2):e20249. DOI: https://doi.org/10.1002/agg2.20249

19. Ivanov D. A., Abramov V. A. Dynamics of groundwater within agrolandscape. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2014;(4):7–9. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=21994913

20. Sidorova V. A. Dynamics of the spatial variability of soil properties of grassland agrocoenosis of Karelia during post-anthropogenic development. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii* = Russian Journal of Applied Ecology. 2016;(3):23–27. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=27345326

21. Frank P. Propagation of Error and the Reliability of Global Air Temperature Projections. Frontiers in Earth Science. 2019;7:223. DOI: https://doi.org/10.3389/feart.2019.00223

Сведения об авторах

✉ **Иванов Дмитрий Анатольевич,** доктор с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2588-272X**

Рублюк Мария Владимировна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5319-2614

Хархардинов Никита Александрович, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д.27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Information about the authors

✉ **Dmitriy A. Ivanov,** DSc in Agricultural Science, professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2588-272X**

Maria V. Rublyuk, PhD in Agricultural Science, senior researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5319-2614

Nikita A. Kharkhardinov, junior researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.628–638
УДК 631.582.5:631.816.11

(cc) BY

Отзывчивость культур полевого севооборота на внесение разных доз минеральных удобрений

© 2025. А. А. Артемьев ✉, А. М. Гурьянов
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В 2017–2022 гг. в лесостепи Евро-Северо-Востока РФ (Республика Мордовия) в полевом севообороте (яровой ячмень с подсевом клевера – клевер 1-го г. п. – озимая пшеница – яровой ячмень – суданская трава) на черноземе выщелоченном проведены исследования по оптимизации доз удобрений и соотношения в них NPK. Во все годы исследований главным элементом, определившим урожайность культур в севообороте, являлся азот. Минимальное включение его в дозу удобрения (N_{45}) увеличивало в сравнении с контролем (9,89 т з. ед.) в среднем на 25,8 % общий сбор зерновых единиц за ротацию севооборота. Применение доз N_{90} и N_{135} повысило продуктивность относительно N_{45} на 19,65 и 56,9 % соответственно. Фосфор и калий не оказали существенного влияния на урожай. В среднем по двум закладкам севооборота клевер луговой и суданская трава были наиболее продуктивными (3,48–3,52 т з. ед./га). Из зерновых культур наибольшей продуктивности достигла озимая пшеница (в среднем 3,29 т з. ед. /га). Изучение динамики агрохимических показателей почвы относительно начального определения показало, что применение фосфорных и калийных удобрений в дозе P_{30} и K_{30} сохраняло концентрацию P_2O_5 и K_2O на исходном уровне. Внесение P_{60} и K_{60} увеличивало их содержание на 3,5 и 4,0 % соответственно. В вариантах, где эти удобрения не вносили, концентрация P_2O_5 и K_2O снизилась на 7 и 8 % соответственно. По азоту только доза N_{135}, независимо от соотношения с фосфором и калием, увеличивала на 9 % его содержание в почве. Расчет эффективности внесения удобрений на прибавку продуктивности 1 га севооборотной площади показал, что высокие затраты на приобретение фосфорных и калийных удобрений существенно снижали эффективность их применения, особенно на фоне N_{45}, где был получен отрицательный уровень рентабельности (до -30 %). Наибольший экономический эффект (143 %) зафиксирован при внесении в чистом виде азота в дозе N_{90}. Среди вариантов с полным минеральным удобрением максимальный условный чистый доход (10750 руб/га) и уровень рентабельности (85,5 %) получили в варианте $N_{135}P_{30}K_{30}$.

Ключевые слова: *чернозем выщелоченный, яровой ячмень, клевер луговой, озимая пшеница, суданская трава, продуктивность, соотношение NPK, эффективность*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2025-0005, рег. № 1021060407720-0).

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

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

Для цитирования: Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Отзывчивость культур полевого севооборота на внесение разных доз минеральных удобрений. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):628–638.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.628-638

Поступила: 03.04.2025 Принята к публикации: 27.05.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Responsiveness of agricultural crops in field crop rotation to the application of different doses of mineral fertilizers

© 2025. Andrey A. Artemjev ✉, Alexander M. Guryanov
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

In 2017–2022 in the forest-steppe of the Euro-North-East part of the Russian Federation (the Republic of Mordovia) in a field crop rotation (spring barley with clover undersowing – first year clover – winter wheat – spring barley – sudan grass) on leached chernozem there was carried out the research to optimize the doses and ratio of NPK in fertilizers. In all years of research, nitrogen was the main element that determined the crop yield in the crop rotation. Its minimum inclusion in the fertilizer dose (N_{45}) increased the total grain harvest units for crop rotation by 25.8 % compared to the control (9.89 tons of grain units). The use of N_{90} and N_{135} increased productivity by 19.65 and 56.9 %, respectively, relative to the dose of N_{45}. Phosphorus and potassium in the fertilizer did not significantly affect the yield. On average, for two crop rotations, red clover and Sudan grass turned out to be the most productive (3.48–3.52 tons of crop units/ha). Of the grain crops, winter wheat achieved the highest productivity (on average 3.29 tons of crop units/ha). A study of the dynamics of agrochemical soil parameters relative to the initial determination showed that the use of phosphorus and potassium fertilizers in the dose of P_{30} and K_{30} maintained the concentration of P_2O_5 and K_2O at the initial level. The introduction of a dose of P_{60} and K_{60} increased the content of phosphorus and potassium by 3.5 and 4,0 %, respectively. In variants where phosphorus and potassium were not added, the concentration of P_2O_5 and K_2O decreased by 7 and 8 %, respectively. For nitrogen, only the N_{135} dose, regardless of the ratio

with phosphorus and potassium, increased its content in the soil by 9 %. Calculation of the efficiency of fertilizer application for yield increase of 1 ha of rotation area showed that high costs for the purchase of phosphorus and potassium fertilizers significantly reduced the efficiency of their use, especially against the background of N_{45}, where a negative level of profitability was obtained (up to minus 30 %). The greatest economic effect (143 %) was obtained by applying nitrogen at a dose of N_{90}. Among the options with complete mineral fertilizer, the maximum conditional net income (10750 rubles/ha) and the level of profitability (85.5 %) were obtained in the $N_{135}P_{30}K_{30}$ variant.

Keywords: *leached chernozem, spring barley, red clover, winter wheat, Sudan grass, productivity, NPK ratio, efficiency*

Acknowledgment: the research carried out under support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme FNWE-2022-0005, reg. No. 1021060407720-0).

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

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

For citation: Artemjev A. A., Guryanov A. M. Responsiveness of agricultural crops in field crop rotation to the application of different doses of mineral fertilizers. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):628–638. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.628-638

Received: 03.04.2025 Accepted for publication: 27.05.2025 Published online: 30.06.2025

Современный вектор развития сельского хозяйства всецело сосредоточен на оптимизации использования ресурсов как ключевой стратегии действий в условиях растущей дороговизны энергоносителей и материалов. Для повышения эффективности отрасли растениеводства требуется принципиальное переосмысление подходов к организации научных исследований, которые должны быть направлены на увеличение объемов продукции заданного качества при минимальных затратах энергоресурсов и сохранение экологического баланса и плодородия почв [1, 2]. Одним из наиболее перспективных путей достижения указанной цели выступает прецизионное земледелие, предполагающее гибкое и дифференцированное применение как технологических и технических средств, так и природных ресурсов [3, 4]. Недооценка разнообразия почвенного плодородия и игнорирование факторов риска в агротехнологиях ведет к нарушению равновесия в сельскохозяйственных экосистемах, что негативно сказывается на реализации потенциала культурных растений [5]. В результате эффективность использования средств химизации снижается до 40–50 %, не достигая запланированного уровня [6, 7, 8].

Дифференцированное использование удобрений предполагает учет неоднородности почвенного плодородия [9], разработку персональных агроприемов для каждого участка [10, 11]. Исследования демонстрируют, что такой индивидуальный подход способствует оптимизации и перераспределению удобрений по полям, обеспечивая повышение продуктивности культур и стабилизацию их урожайности [12, 13]. Однако в контексте аграрной практики остается малоизученными зависимость плодородия почвы и урожайности культур от различных доз и соотношения азота, фосфора и калия в удобрении, а также динамика агрохимических показателей почвы в зависимости от их исходного уровня [14, 15]. Этот момент очень важен для уточнения доз минеральных удобрений при их дифференцированном внесении, особенно для полей, сходных по уровню плодородия с экспериментальными участками. Представленная научно-исследовательская работа направлена на заполнение новыми знаниями этих пробелов. Её актуальность обусловлена необходимостью повышения агроэкологической устойчивости и экономической эффективности сельскохозяйственного производства.

Цель исследований – установить влияние доз минеральных удобрений и соотношения в них элементов питания на урожайность культур, продуктивность полевого севооборота и агрохимические свойства чернозема выщелоченного.

Научная новизна – состоит в оптимизации доз NPK под сельскохозяйственные культуры для дифференцированного их применения с учетом агрохимических показателей плодородия выщелоченного чернозема.

Материал и методы. В 2017–2022 г. на опытном поле Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в полевом севообороте в двух закладках проведены полевые исследования, направленные на выявление оптимальных доз и сочетаний NPK в зависимости от исходного плодородия почвы.

Севооборот на экспериментальном участке имел свойственный для региона набор культур: яровой ячмень с подсевом клевера – клевер луговой 1-го г. п. – озимая пшеница – яровой ячмень – суданская трава. Ротация каждой культуры севооборота проходила последова-

тельно в двух полях со смещением в один год (например, первая культура севооборота – яровой ячмень, высевалась на первом поле первой закладки в 2017 г., а во второй закладке – в 2018 г.). Это позволило каждую культуру исследовать в течение двух лет, охватить контрастность погодных условий и сделать объективное заключение.

Экспериментальный участок в период закладки опыта характеризовался вариабельностью агрохимических свойств чернозема выщелоченного в слое 0–20 см: реакция почвенной среды (ГОСТ 26483-85)[1] от среднекислой до слабокислой ($pH_{сол}$ = 4,9–5,1); содержание гумуса (ГОСТ 26213-91)[2] на уровне 6,1–6,4 %; высокая обеспеченность подвижными соединениями фосфора (>151 мг/кг почвы) и калия (>171 мг/кг почвы) (ГОСТ 54650-2011)[3]. Содержание минеральных форм азота (нитратный (ГОСТ 26951-86)[4] и аммонийный азот (ГОСТ 26489-85)[5]) находилось на очень низком уровне (< 15 мг/кг почвы). Анализ почвы осуществляли в аккредитованной лаборатории Центра агрохимического обслуживания «Мордовский».

Высокое содержание в почве P_2O_5 и K_2O и очень низкое N явились определяющим фактором в обосновании выбора доз минеральных удобрений и пропорций элементов питания в них. Изучаемые дозы удобрений и соотношение в них NPK включали 14 вариантов, расположенных в два блока: 1-й – 000 (контроль), 111, 112, 121, 122, 200, 211; 2-й – 220, 202, 222, 311, 312, 321, 333. Каждый блок имел 3-кратную повторность. Последовательность арабских цифр в вариантах имела следующую расшифровку: 1-я цифра – N, 2-я – P_2O_5, 3-я – K_2O. Доза каждого подвижного элемента обозначала: 0 – без удобрений (контроль); 1, 2, 3 – одинарная, двойная и тройная дозы. Номинальное значение доз устанавливали в соответствии с целью исследований и с условием, что максимальная доза несколько выше предполагаемой оптимальной. С учетом уровня почвенного плодородия по азоту одинарная доза соответствовала 45 кг д. в./га, двойная – 90, тройная – 135 кг д. в./га. По фосфору и калию дозы удобрений были несколько ниже, что обуславливалось высоким содержанием подвижных соединений этих элементов в почве: 1 – 30, 2 – 60, 3 – 90 кг д. в./га.

Закладку эксперимента и реализацию исследований осуществляли в соответствии с методиками полевого опыта[6] и государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур[7]. Форма делянки соответствовала прямоугольнику размером 80 м^2 (4×20 м), присутствовали защитные полосы по 1-2 м с каждой стороны. Культуры в полевом севообороте выращивали по рекомендуемым для Республики Мордовия технологиям[8]. Сорта возделываемых в опыте культур входят в Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории Российской Федерации по Средневолжскому региону: яровой ячмень Зазерский 85; озимая пшеница Московская 39; клевер луговой Носовский 4; суданская трава Кинельская 100.

Удобрения под возделываемые культуры севооборота вносили по-разному. В агротехнологии озимой пшенице дозы фосфорных и калийных удобрений, а также 30 % азотных заделывали в почву под предпосевную культивацию, остальную часть азота применяли ранней весной в момент начала отрастания растений. Возделывание ярового ячменя сопровождалось внесением полных доз фосфорно-калийных удобрений под основную обработку почвы, азотных – под предпосевную культивацию.

[1]ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf
[2]ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 6 с. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf
[3]ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf
[4]ГОСТ 26951-86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 10 с. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/d20/4294827592.pdf
[5]ГОСТ 26489-85. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 5 с. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/09d/4294827940.pdf
[6]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
[7]Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. Вып. 2. 195 с.
[8]Печаткин В. Г., Маврин Е. В., Кочетков Н. С., Гурьянов А. М., Артемьев А. А., Ахметов Ш. И. и др. Адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Республики Мордовия: методическое руководство. Саранск, 2003. 428 с.

Под суданскую траву удобрения вносили весной: фосфорные и калийные под первую культивацию; азотные – под предпосевную. Клевер возделывали без применения минеральных туков. Из удобрений использовали двойной суперфосфат, хлористый калий и аммиачную селитру. Все дозы NPK в опыте вносили вручную. Полученные результаты исследований обработаны методом дисперсионного анализа, описанного Б. А. Доспеховым[9].

Результаты и их обсуждение. Погодные условия в годы исследований отличались контрастностью, что повлияло на уровень урожайности культур севооборота. Так, в период постановки первой закладки опыта (2017 г.) погода соответствовала нормальному увлажнению, ГТК за вегетацию составил 1,25. Это положительно отразилось на росте, развитии и продуктивности первой культуры севооборота – ярового ячменя. Постановка второй закладки эксперимента (2018 г.) проходила в очень засушливых условиях при ГТК = 0,37, что негативно сказалось на урожайности ячменя во второй закладке опыта и на клевере – в первой закладке. Слабой степенью засухи характеризовался вегетационный период 2019 г. (ГТК = 0,8). Стоит отметить, что в первой закладке эксперимента для озимой пшеницы крайне неблагоприятно сложились условия перезимовки в период 2018–2019 гг., когда количество растений на единице площади уменьшилось на 30–40 %. Заметнее это выглядело на делянках, где фосфорно-калийные удобрения не применяли или вносили в минимальных дозах. В 2020 г., когда в первой закладке культивировался ячмень, а во второй – озимая пшеница, вегетация культур проходила при оптимальных условиях увлажнения (ГТК = 1,3). В этот год урожайность указанных растений по закладкам опыта была максимальной. Условия 2021 г. по влагообеспеченности были схожи с 2019 г., и поэтому ячмень (2-е поле) в этот год уступал по сбору зерна с единицы площади предыдущей закладке. Нормальными условиями увлажнения отличался 2022 г. (ГТК = 1,01), однако для суданской травы по распределению осадков лучшие условия сложились в 2021 г., которые способствовали формированию повышенного урожая зелёной массы.

В целом погодная контрастность периодов роста и развития культур полевого севооборота по двум закладкам не повлияла существенно на процесс появления всходов, но в отдельные засушливые годы сокращала период вегетации на 7–14 дней. Особенно это проявилось по ячменю (1-е поле севооборота) во второй закладке эксперимента и по клеверу – в первой закладке.

Урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность применения удобрений была напрямую связана как с количеством внесенных минеральных туков, так и с пропорциями питательных элементов в удобрениях. Исследования продемонстрировали, что изменение доз удобрений и соотношения в них питательных веществ существенно влияло на конечную урожайность культур севооборота и в целом на его продуктивность, выраженную в зерновых единицах (з. ед.) (табл. 1).

На протяжении всех лет исследований ключевым фактором, определяющим урожайность культур севооборота, стал азот, увеличение которого во вносимой дозе приводило к достоверному росту урожая. Даже минимальное включение азота в дозу удобрения давало значимый прирост продуктивности. В среднем по однократным дозам (111, 112, 121, 122) азота общий сбор зерновых единиц за ротацию севооборота составил 13,33 т, что на 25,8 % выше, чем в контроле (000), где сбор продукции получили наименьшим. Использование двукратных (200, 211, 220, 202, 222) и трехкратных (311, 312, 321, 333) доз этого элемента повышало сбор зерновых единиц относительно однократного внесения на 19,6 и 36,3 % соответственно.

Использование фосфора и калия в составе удобрения, даже в наибольших количествах, не способствовало повышению урожая, что объяснялось высоким естественным уровнем плодородия чернозема выщелоченного и значительным присутствием подвижных соединений этих элементов в почве. Стоит отметить, что комплексное применение фосфорно-калийных удобрений в сочетании с азотом усиливало действие последнего, обеспечивая большую продуктивность культур севооборота, хотя в большинстве случаев разница была недостоверной.

В среднем по двум закладкам полевого севооборота суданская трава и клевер луговой были наиболее продуктивными (3,48–3,52 т з. ед./га). Из зерновых культур наивысшей продуктивности достигла озимая пшеница (в среднем по всем дозам 3,29 т з. ед./га).

[9]Доспехов Б. А. Указ. соч.

Таблица 1 – **Зависимость продуктивности сельскохозяйственных культур и севооборота от доз и соотношения элементов питания в удобрении, т з. ед. (среднее по двум закладкам севооборота) /**
Table 1 – **Dependence of agricultural crop productivity and crop rotation on doses and ratios of nutrients in fertilizers, tons of grain units (average for two crop rotation periods)**

Доза и соотношение NPK / Doses and ratios of nutrients in fertilizers**	*Культура севооборота / Crop rotation culture*					*Всего за ротацию / Total for crop rotation*	*На 1 га севооборотной площади / Per 1 ha of crop rotation area*
	яровой ячмень / spring barley	*клевер / clover*	*озимая пшеница / winter wheat*	*яровой ячмень / spring barley*	*суданская трава / sudan grass*		
000	1,63	2,49	1,68	1,82	2,27	9,89	1,98
111	2,26	2,91	2,48	2,51	2,95	13,11	2,62
112	2,34	2,95	2,54	2,52	2,95	13,30	2,66
121	2,32	2,91	2,56	2,52	3,03	13,34	2,67
122	2,31	3,03	2,56	2,61	3,16	13,67	2,71
200	2,40	3,47	3,34	3,37	3,38	15,96	3,19
211	2,77	3,56	3,44	3,45	3,56	16,78	3,36
220	2,49	3,50	3,38	3,38	3,53	16,28	3,26
202	2,84	3,56	3,33	3,38	3,51	16,62	3,32
222	2,99	3,65	3,60	3,37	3,69	17,30	3,46
311	3,73	4,26	4,20	4,17	4,14	20,50	4,10
312	3,88	4,22	4,24	4,29	4,12	20,75	4,15
321	3,92	4,30	4,27	4,17	4,17	20,83	4,17
333	4,06	4,44	4,42	4,32	4,30	21,54	4,31
Среднее / Average	2,85	3,52	3,29	3,27	3,48	16,41	3,29
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,41	0,35	0,56	0,46	0,52	-	-

* Доза и соотношение NPK: 000 – $N_0P_0K_0$ (контроль); 111 – $N_{45}P_{30}K_{30}$; 112 – $N_{45}P_{30}K_{60}$; 121 – $N_{45}P_{60}K_{30}$; 122 – $N_{45}P_{60}K_{60}$; 200 – $N_{90}P_0K_0$; 211 – $N_{90}P_{60}K_{30}$; 220 – $N_{90}P_{60}K_0$; 202 – $N_{90}P_0K_{60}$; 222 – $N_{90}P_{60}K_{60}$; 311 – $N_{135}P_{30}K_{30}$; 312 – $N_{135}P_{30}K_{60}$; 321 – $N_{135}P_{60}K_{30}$; 333 – $N_{135}P_{90}K_{90}$ /

* Dose and ratio of NPK: 000 – $N_0P_0K_0$ (control); 111 – $N_{45}P_{30}K_{30}$; 112 – $N_{45}P_{30}K_{60}$; 121 – $N_{45}P_{60}K_{30}$; 122 – $N_{45}P_{60}K_{60}$; 200 – $N_{90}P_0K_0$; 211 – $N_{90}P_{60}K_{30}$; 220 – $N_{90}P_{60}K_0$; 202 – $N_{90}P_0K_{60}$; 222 – $N_{90}P_{60}K_{60}$; 311 – $N_{135}P_{30}K_{30}$; 312 – $N_{135}P_{30}K_{60}$; 321 – $N_{135}P_{60}K_{30}$; 333 – $N_{135}P_{90}K_{90}$

Минимальный сбор зерновых единиц (2,85 т з. ед./га) получили по яровому ячменю в первом поле севооборота, что напрямую было связано с засушливыми условиями погоды в первый год закладки эксперимента, которые существенно повлияли на использование питательных веществ из удобрений.

Нагляднее зависимость продуктивности полевого севооборота от доз и соотношения элементов питания в удобрении демонстрирует рисунок, на котором виден общий тренд роста среднегодовой продуктивности севооборота от минимального количества внесенного азота до трехкратного его увеличения. Из данных рисунка можно проследить незначительный эффект от внесения однократной дозы азота совместно с фосфором и калием, даже при максимальном их использовании. При увеличении азота в два раза в полном минеральном удобрении (варианты 211 и 222) эффект значительно возрастал в сравнении вариантами, где фосфор или калий не вносили. При трехкратном увеличении азота в удобрении эффект от использования полного минерального удобрения получили только в варианте с максимальным включением фосфора и калия. В контроле продуктивность 1 га севооборотной площади зафиксирована минимальной (1,98 т з. ед./га).

Внесение разных доз минеральных удобрений существенно отразилось на показателях качества продукции культур севооборота. На примере зерновых культур показано изменение массы 1000 зерен и содержания белка в зависимости от уровня использования NPK (табл. 2). Результаты демонстрировали общую прослеживаемость к повышению данных показателей с возрастанием дозы азота в удобрении. При этом его соотношение с фосфором и калием существенно не влияло на изменение массы 1000 зерен и содержание белка. Наибольшие их значения по всем трем культурам отмечены в вариантах с применением тройных

доз азота. Так, в среднем по четырем вариантам доз (311, 312, 321, 333) в первом поле масса 1000 зерен ячменя составила 45,7 г, содержание белка – 13,3 %, по озимой пшенице – 42,3 г и 14,4 % соответственно, по второму полю ячменя – 46,5 г и 13,0 % соответственно. Среди вариантов с удобрениями наименьшая масса 1000 зерен и содержание белка по всем зерновым культурам севооборота наблюдалась в вариантах с применением азота в одинарной дозе. В абсолютном контроле качество культур было наихудшим.

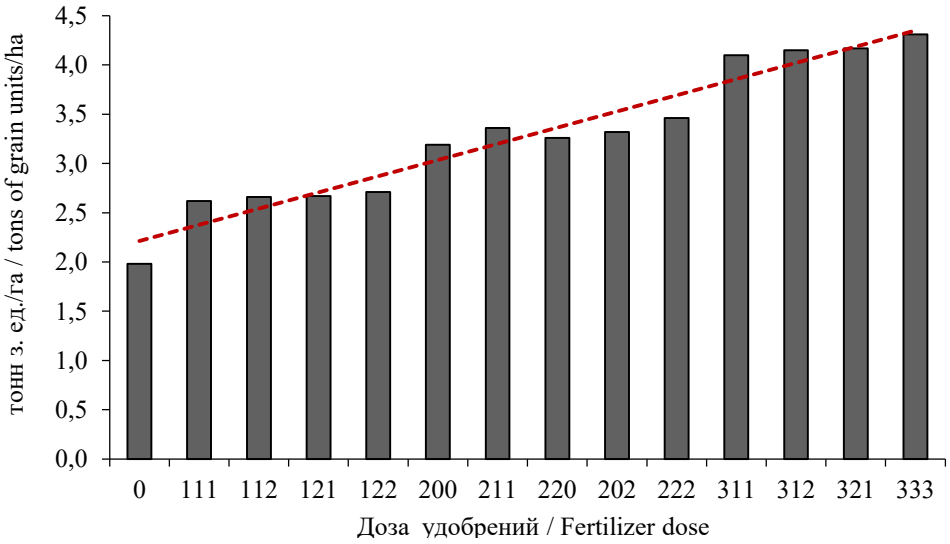


Рис. **Влияние дозы минерального удобрения на продуктивность 1 га севооборотной площади, тонн з. ед. (среднее за ротацию севооборота по двум закладкам) /**

Fig. **Effect of mineral fertilizer dose on productivity of 1 ha of crop rotation area, tons of grain units (average for two crop rotation periods)**

Таблица 2 **– Изменение качества зерновых культур полевого севооборота от доз и соотношения элементов питания в удобрении (среднее по двум закладкам севооборота) /**
Table 2 **– Change in the quality of grain crops in field crop rotation from doses and ratios of nutrients in fertilizers (average for two crop rotation periods)**

Доза и соотношение NPK / Doses and ratios of nutrients in fertilizers*	*Яровой ячмень (первое поле) / Spring barley (first field)*		*Озимая пшеница / Winter wheat*		*Яровой ячмень (второе поле) / Spring barley (second field)*	
	масса 1000 зерен, г / weight of 1000 grains, g	*белок, % / protein, %*	*масса 1000 зерен, г / weight of 1000 grains, g*	*белок, % / protein, %*	*масса 1000 зерен, г / weight of 1000 grains, g*	*белок, % / protein, %*
000	42,8	12,1	38,1	13,0	43,5	11,8
111	43,8	12,6	39,2	13,5	44,4	12,3
112	43,8	12,5	39,2	13,6	44,6	12,3
121	43,9	12,6	39,3	13,7	44,5	12,2
122	43,9	12,7	39,3	13,7	44,5	12,2
200	44,5	12,8	41,0	14,0	45,2	12,5
211	44,7	12,9	41,0	14,1	45,4	12,6
220	44,7	12,9	41,2	14,1	45,5	12,6
202	44,6	12,8	41,1	14,1	45,4	12,6
222	44,8	13,0	41,2	14,2	45,6	12,7
311	45,6	13,3	42,2	14,4	46,5	13,0
312	45,6	13,2	42,2	14,4	46,4	13,0
321	45,7	13,3	42,3	14,4	46,5	13,0
333	45,9	13,5	42,4	14,5	46,8	13,1
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,8	0,3	0,9	0,3	0,9	0,2

* Смотрите примечания к таблице 1 / * See the notes to table 1

Применение в опыте фосфорно-калийных удобрений существенно не влияло на изменение массы 1000 зерен и накопление белка в зерне зерновых культур.

Влияние погодных условий на изменение качества культур в севообороте показали два поля с яровым ячменем, когда в первом случае значения массы 1000 зерен были меньше, а содержание белка выше, и, наоборот, во втором случае масса 1000 зерен больше, а уровень белка ниже. Данное явление объясняется контрастностью условий вегетации, когда в первые два года проведения эксперимента они были более засушливыми.

Для прослеживания динамики агрохимических характеристик чернозема выщелоченного под влиянием удобрений и соотношения в них элементов питания в зависимости от их исходного уровня, изучали образцы почвы, отобранные с глубины пахотного горизонта. Отбор проводили в два этапа – перед закладкой опыта и в конце ротации севооборота. Полученные результаты в среднем по двум закладкам отражены в таблице 3.

Таблица 3 – **Агрохимическая характеристика почвы в начале и конце ротации полевого севооборота, мг/кг почвы (среднее по двум закладкам севооборота) /**
Table 3 – **Agrochemical characteristics of the soil at the beginning and end of the field crop rotation, mg/kg of soil (average for two crop rotation periods)**

Доза и соотношение NPK / Doses and ratios of nutrients in fertilizers*	*$N\text{-}NO_3 + N\text{-}NH_4$*		*P_2O_5*		*K_2O*	
	среднее / average					
	2017-2018 гг.	*2021-2022 гг.*	*2017-2018 гг.*	*2021-2022 гг.*	*2017-2018 гг.*	*2021-2022 гг.*
000	6,83	6,05	174	160	193	165
111	6,99	6,80	193	189	210	205
112	7,42	7,29	180	176	228	237
121	7,45	7,25	176	181	189	185
122	6,90	6,72	201	210	199	207
200	7,42	7,38	189	176	215	203
211	7,32	7,29	205	210	207	200
220	7,19	7,16	180	188	203	194
202	7,93	7,89	200	188	222	230
222	7,33	7,25	192	200	225	231
311	7,82	8,32	176	171	208	202
312	7,85	8,53	198	193	200	206
321	7,25	8,71	191	199	191	189
333	7,89	8,28	202	218	208	223
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	1,23	1,16	30	28	40	32

* Смотрите примечания к таблице 1 / * See the notes to table 1

Анализ данных таблицы показывает, что почва экспериментальных участков перед закладкой опыта характеризовалась в среднем по двум закладкам очень низким присутствием минеральных соединений азота (от 6,83 до 7,93 мг/кг почвы). Это свидетельствует, что азот являлся лимитирующим показателем почвы. Содержание подвижных соединений фосфора и калия было высоким (174–205 и 189–228 мг/кг почвы соответственно).

Исследование агрохимических параметров почвы с опытного участка, проведенное после уборки последней культуры севооборота в среднем по двум закладкам, показало, что применение фосфорных и калийных удобрений в однократной дозе достоверно не уменьшало концентрацию P_2O_5 и K_2O в пахотном горизонте, наблюдалась лишь тенденция к их уменьшению. Вносимые в таком количестве элементы питания полностью потреблялись возделываемыми культурами севооборота. Внесение фосфора и калия в двойных дозах увеличивало относительно первоначальных определений их содержание в верхнем слое почвы

в среднем по двум закладкам на 3,5 % по P_2O_5 и на 4,0 % по K_2O. В варианте с трехкратными дозами применения указанных элементов уровень P_2O_5 в почве увеличился на 7,3 %, K_2O – на 6,7 %. В вариантах (200, 202, 220), где фосфорные или калийные удобрения не вносили (включая контроль – 000), концентрация P_2O_5 и K_2O снизилась на 7 и 8 % соответственно.

Содержание подвижных форм азота в почве непостоянно и сильно зависит как от сроков отбора образцов, так и от уровня влажности почвы, что делает его одним из наиболее неустойчивых показателей плодородия. Несмотря на сложности в его мониторинге, применение тройных доз азота в удобрении, независимо от пропорций с фосфором и калием, приводило в среднем по двум закладкам к увеличению концентрации этого элемента в пахотном слое по сравнению с контролем, которое в среднем по вариантам (311, 312, 321, 333) опыта составило 9 %.

В современных условиях оценка применения минеральных удобрений в разных дозах с агрономической точки зрения не всегда является достаточной. Постоянный рост стоимости средств производства требует рационального обращения с ними и изучения их действия с экономической точки зрения, так как внесение, например, высоких доз удобрений не всегда является оправданным. Расчеты эффективности внесения минеральных удобрений на получение прибавки продуктивности с 1 га севооборотной площади представлены в таблице 4.

Таблица 4 – **Эффективность применения минеральных удобрений в получении прибавки продуктивности с 1 га севооборотной площади (среднее по двум закладкам севооборота) /**
Table 4 – **Efficiency of using mineral fertilizers in obtaining an increase in productivity from 1 ha of crop rotation area (average for two crop rotation periods)**

Вариант опыта / Variant of the experiment*	*Прибавка продуктивности, т з. ед./га / Yield increase from fertilizer application, tons of grain units/ha*	*Стоимость прибавки**, руб/га / Cost of yield increase, rub/ha*	*Затраты на приобретение удобрений, руб/га / Costs of purchasing fertilizers, rub/ha*	*Условный чистый доход, руб/га / Net income, rub/ha*	*Рентабельность, % / Profitability, %*
000	-	-	-	-	-
111	0,64	7040	7110	-70	-1,0
112	0,68	7480	8435	-955	-11,3
121	0,69	7590	10165	-2575	-25,3
122	0,73	8030	11490	-3460	-30,1
200	1,21	13310	5460	7850	143,0
211	1,58	17380	9840	7540	76,6
220	1,28	14080	11570	2510	21,7
202	1,34	14740	8110	6630	81,8
222	1,48	16280	14220	2060	14,5
311	2,12	23320	12570	10750	85,5
312	2,17	23870	13895	9975	71,8
321	2,19	24090	15625	8465	54,2
333	2,33	25630	21330	4300	20,2

* Смотрите примечания к таблице 1; ** Стоимость 1 тонны з. ед. составила 11000 руб. /
* See the notes to table 1; ** The cost of 1 ton of grain unit was 11000 rub.

Несмотря на то, что внесение фосфора и калия в составе полного удобрения усиливало действие азота в получении большей прибавки урожая, их применение по вариантам опыта оказалось неоднозначным. Высокие затраты на приобретение удобрений, особенно фосфорных, существенно снижали эффективность использования. Более всего это проявилось на фоне внесения N_{45} (варианты: 111, 112, 121, 122), где были получены отрицательные

значения по условному чистому доходу (от -70 до -3460 руб/га) и соответственно по уровню рентабельности (от -1,0 до -30,1 %). Применение в этих вариантах фосфорно-калийных удобрений оказалось неоправданным.

Наибольший экономический эффект получили при внесении в чистом виде азота в двойной дозе (вариант 200), рентабельность производства составила 143 %. Среди вариантов с полным минеральным удобрением максимальный условный чистый доход (10750 руб/га) и уровень рентабельности (85,5 %) демонстрировал вариант 311.

Заключение. Таким образом, изменение дозы удобрений и соотношения в них питательных веществ существенно влияло на продуктивность культур и севооборота в целом. Наибольшее воздействие на уровень урожая оказал азот. Минимальное включение его в дозу удобрения (N_{45}) увеличивало общий сбор зерновых единиц за ротацию севооборота в сравнении с контролем (9,89 т з. ед.) в среднем на 25,8 %. Применение N_{90} и N_{135} повышало на 19,65 и 56,9 % соответственно продуктивность относительно N_{45}. Подобная закономерность проявлялась и по сбору зерновых единиц с 1 га севооборотной площади. В среднем по двум закладкам полевого севооборота клевер луговой и суданская трава были наиболее продуктивными (3,48–3,52 т з. ед./ га). Из зерновых культур наивысшей продуктивности достигла озимая пшеница (в среднем по всем дозам 3,29 т з. ед. /га).

Внесение разных доз минеральных удобрений существенно отразилось на показателях качества продукции культур севооборота. На примере зерновых культур выявлена общая закономерность повышения массы 1000 зерен и содержания белка с возрастанием дозы азота в удобрении. Соотношение азота, фосфора и калия в составе удобрения не влияло на показатели качества.

Изучение динамики агрохимических показателей почвы относительно начального определения показало, что применение фосфорных и калийных удобрений в дозе P_{30} и K_{30} сохраняло концентрацию P_2O_5 и K_2O на исходном уровне. Внесение P_{60} и K_{60} увеличивало их содержание на 3,5 и 4,0 % соответственно. В вариантах, где эти удобрения не вносили, концентрация P_2O_5 и K_2O в почве снизилась на 7 и 8 % соответственно. Содержание подвижных форм азота в почве непостоянно, поэтому только при использовании дозы N_{135}, независимо от соотношения с фосфором и калием, проявлялась четкая закономерность увеличения их содержания в почве на 9 %.

Расчет экономической эффективности внесения удобрений на увеличение продуктивности 1 га севооборотной площади показал, что высокие затраты на приобретение фосфорных и калийных удобрений существенно снизили результативность их применения, особенно на фоне N_{45}, где получили отрицательный уровень рентабельности (от -1 до -30 %). Наибольший эффект (143 %) зафиксирован при внесении только азота в дозе N_{90}. Среди вариантов с полным минеральным удобрением максимальный уровень рентабельности (85,5 %) получили в варианте $N_{135}P_{30}K_{30}$.

Список литературы

1. Кененбаев С. Б. Ресурсосберегающие системы земледелия – основа воспроизводства плодородия почв и повышения продуктивности земель. Наука и образование. 2022;(1-2(66)):77–84. DOI: https://doi.org/10.52578/2305-9397-2022-1-1-77-84 EDN: BVSIYD

2. Асланян К. А., Емелин А. В. Современные методы повышения плодородия почв при минимизации использования химических удобрений. Международный научный сельскохозяйственный журнал. 2024;(4):18–28. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80314167 EDN: VBNOMZ

3. Сайкинов В. Е., Золкин А. Л., Бостанова П. И., Беспалова В. В. Экономическое влияние точного земледелия на устойчивое развитие сельского хозяйства. Экономика и управление: проблемы, решения. 2024;5(9(150)):173–181. DOI: https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.09.05.018 EDN: HGHPGS

4. Capmourteres V., Adams J., Berg A., Fraser E., Swanton C., Anand M. Precision conservation meets precision agriculture: A case study from southern Ontario. Agricultural Systems. 2018;167:176–185. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.09.011

5. Чикишев Д. В., Абрамов Н. В., Ларина Н. С. Влияние дифференцированного внесения минеральных удобрений на продуктивность и качество яровой пшеницы. АгроЭкоИнфо. 2019;(2(36)):3.

6. Белых С. А., Митрофанов С. В., Личман Г. И., Марченко А. Н. Экономически прибыльный прием расчета доз для дифференцированного внесения удобрений. Техника и оборудование для села. 2020;(7(277)):45–50. DOI: https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-7-45-48 EDN: GZIMWT

7. Шерстобитов С. В. Эффективность дифференцированного внесения азотных удобрений в режиме off-line в условиях Западной Сибири. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;(5(91)):22–26. DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-91-5-22-26 EDN: MQWDBL

8. Чикишев Д. В. Экономическая эффективность применения минеральных удобрений с использованием систем спутниковой навигации. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020;(7):28–32. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=44191666 EDN: ROALRG

9. Федоренко В. Ф., Мишуров Н. П., Петухов Д. А., Трубников А. В., Семизоров С. А. Технология точного земледелия: дифференцированное внесение удобрений с учётом внутриполевой неоднородности почвенноземельного покрова. Техника и оборудование для села. 2019;(2):2–9.
DOI: https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-2-2-7 EDN: YZCLGP

10. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Дифференцированное применение минеральных удобрений при возделывании суданской травы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):369–377.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.369-377 EDN: ACRTUB

11. Наумкин В. Н., Наумкина Л. А., Крюков А. Н., Хлопяников А. М., Хлопяникова Г. В. К разработке эффективных дифференцировных технологий возделывания полевых культур. Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019;(1(21)):127–132. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=37378399 EDN: ZEJJXV

12. Цыганова Н. А. Энергетическая и экономическая эффективность дифференцированного применения минеральных удобрений в полевом севообороте. Агрофизика. 2020;(1):37–44.
DOI: https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.01.06 EDN: BLTKHP

13. Nordblom T. L., Hutchings T. R., Godfrey S. S., Schefe C. R. Precision variable rate nitrogen for dryland farming on waterlogging Riverine Plains of Southeast Australia? Agricultural Systems. 2020;(186):102962.
DOI: https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102962

14. Астахов В. С., Иванчиков Г. О. Проблемы применения систем точного земледелия при дифференцированном внесении твердых минеральных удобрений и пути их решения. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022;(1):133–136. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?edn=adpsfw EDN: ADPSFW

15. Нукешев С. О., Есхожин Д. З., Романюк Н. Н., Ахметов Е. С., Тлеумбетов К. М., Косатбекова Д. Ш., Сактаганов Б. Ж. Технологические и технические решения проблемы внесения основной дозы минеральных удобрений в системе точного земледелия в условиях Северного Казахстана. Новости науки Казахстана. 2020;(1(143)):156–168. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=43962595 EDN: CMXXPC

References

1. Kenenbaev S. B. Resource-saving farming systems are the basis for soil fertility reproduction and land productivity increase. *Nauka i obrazovanie* = Science and Education. 2022;(1-2(66)):77–84. (In Kazakhstan).
DOI: https://doi.org/10.52578/2305-9397-2022-1-1-77-84

2. Aslanyan K. A., Emelin A. V. Modern methods of increasing soil fertility while minimizing the use of chemical fertilizers. *Mezhdunarodnyy nauchnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*. 2024;(4):18–28. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80314167

3. Saykinov V. E., Zolkin A. L., Bostanova P. I., Bespalova V. V. The economic impact of precision farming on sustainable agricultural development. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya* = Economics and Management: Problems, Solutions. 2024;5(9(150)):173–181. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.09.05.018

4. Capmourteres V., Adams J., Berg A., Fraser E., Swanton C., Anand M. Precision conservation meets precision agriculture: A case study from southern Ontario. Agricultural Systems. 2018;167:176–185.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.09.011

5. Chikishev D. V., Abramov N. V., Larina N. S. The influence of differentiated application of mineral fertilizers on the productivity and quality of spring wheat. *AgroEkoInfo* = AgroEcoInfo. 2019;(2(36)):3. (In Russ.).

6. Belykh S. A., Mitrofanov S. V., Lichman G. I., Marchenko A. N. Cost-effective rate calculation for differential fertilizer Application. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2020;(7(277)):45–50. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-7-45-48

7. Sherstobitov S. V. Efficiency of differentiated application of nitrogen fertilizers in the off-line mode in the conditions of western Siberia. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;(5(91)):22–26. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-91-5-22-26

8. Chikishev D. V. Economic efficiency of application of mineral fertilizers using satellite navigation. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2020;(7):28–32. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=44191666

9. Fedorenko V. F., Mishurov N. P., Petukhov D. A., Trubnikov A. V., Semizorov S. A. Precision farming technology: differential fertilization considering the in-tra-field heterogeneity of the soil-ground cover. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2019;(2):2–9. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-2-2-7

10. Artemjev A. A., Guryanov A. M. Differentiated application of mineral fertilizers in cultivation of Sudanese grass. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):369–377. (In Russ.) https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.369-377

11. Naumkin V. N., Naumkina L. A., Kryukov A. N., Khlopyanikov A. M., Khlopyanikova G. V. To development of effective differentsirovny technologies of cultivation of field cultures. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy* = Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives. 2019;(1(21)):127–132. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=37378399

12. Tsyganova N. A. Energy and economical efficiency of site-specific application of mineral fertilizers in field crop rotation. *Agrofizika* = Agrophysica. 2020;(1):37–44. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.01.06

13. Nordblom T. L., Hutchings T. R., Godfrey S. S., Schefe C. R. Precision variable rate nitrogen for dryland farming on waterlogging Riverine Plains of Southeast Australia? Agricultural Systems. 2020;(186):102962.
DOI: https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102962

14. Astakhov V. S., Ivanchikov G. O. Problems of application of precision farming systems with differentiated application of solid mineral fertilizers and ways of their solution. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2022;(1):133–136. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?edn=adpsfw

15. Nukeshev S. O., Eskhozhin D. Z., Romanyuk N. N., Akhmetov E. S., Tleumbetov K. M., Kosatbeko-va D. Sh., Saktaganov B. Zh. Technological and technical solutions to the problem of introducing the main dose of mineral fertilizers in the precision farming system in the conditions of Northern Kazakhstan. *Novosti nauki Kazakhstana* = Science News of Kazakhstan. 2020;(1(143)):156–168. (In Kazakhstan).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=43962595

Сведения об авторах

✉ **Артемьев Андрей Александрович**, доктор с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории координатного земледелия, директор, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Мичурина, д. 5, р. п. Ялга, г.о. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8759-8070, e-mail: artemjevaa@yandex.ru

Гурьянов Александр Михайлович, доктор с.-х. наук, профессор, главный специалист по коммуникациям и инновациям, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Мичурина, д. 5, р.п. Ялга, г.о. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2642-1498

Information about the authors

✉ **Andrey A. Artemjev**, DSc in Agricultural Science, associate professor, leading researcher at the Laboratory of Precision Agriculture, director, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Michurin street, 5, r. p. Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8759-8070**, e-mail: artemjevaa@yandex.ru

Alexander M. Guryanov, DSc in Agricultural Science, professor, chief specialist in communications and innovations, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Michurin street, 5, r. p. Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2642-1498**

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ / FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.639–649
УДК 633.28:574.24

(cc) BY

Влияние агрометеорологических условий и приемов посева на семенную продуктивность люцерны изменчивой в Среднем Предуралье

© 2025. Н. И. Касаткина✉, Ж. С. Нелюбина
ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация

***Цель исследований** – выявить влияние агрометеорологических условий, возраста травостоя и приемов посева (покровная культура, способ посева) люцерны изменчивой сорта Виктория на ее семенную продуктивность. Исследования проведены в 2019–2023 гг. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Удмуртской Республики (Среднее Предуралье). Метеоусловия вегетационного периода 2023 г. характеризовались по гидротермическому коэффициенту (ГТК) значительной засушливостью (ГТК – 0,63), 2021 и 2022 гг. – засушливостью (ГТК – 0,78 и 0,91), 2020 г. – незначительной засушливостью (ГТК – 1,04) и 2019 г. – переувлажнением (ГТК – 1,73). Отрастание люцерны в годы исследований отмечали во II-III декадах апреля, вегетационный период до уборки семян длился 124–142 дня. За четыре года пользования люцерна сформировала урожайность семян на достаточно высоком уровне: в 1-й г. п. – 570–759 кг/га, в последующие годы – 234–309 кг/га. В среднем за годы исследований наибольшая урожайность получена при посеве люцерны широкорядным (60 см) способом под покров яровой пшеницы либо викоовсяной смеси – 360 и 359 кг/га соответственно. Агрометеорологические условия года оказывали влияние на урожайность (93,3 % изменчивости) и показатели ее структуры. Высота растений люцерны (88,5 % изменчивости) в значительно засушливые годы была на уровне 74–84 см, в более влажные – 108–119 см; масса 1000 семян (84,8 % изменчивости) – 1,88–2,39 г и 1,57–1,75 г соответственно. С возрастом травостоя отмечена тенденция снижения густоты семенного травостоя с 289–420 до 192–260 шт/м^2, количества бобиков на кисти – с 8,6–10,2 до 6,3–8,0 шт., количества семян в бобике (76,1 % изменчивости) – с 4,3–4,9 до 2,0–2,4 шт. На уровень семенной продуктивности люцерны среднее положительное влияние оказывали количество кистей на побеге (r = 0,47) и количество бобиков на кисти (r = 0,53).*

Ключевые слова: *Medicago varia* Mart, *покровная культура, способ посева, гидротермический коэффициент, возраст травостоя, урожайность семян, структура урожайности, посевные качества*

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликтов интересов.

Для цитирования: Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Влияние агрометеорологических условий и приемов посева на семенную продуктивность люцерны изменчивой в Среднем Предуралье. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):639–649. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.639-649

Поступила: 12.03.2025 Принята к публикации: 16.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

The influence of agrometeorological conditions and sowing techniques on seed productivity of variegated alfalfa in the Middle Cis-Urals

© 2025. Nadezhda I. Kasatkina✉, Zhanna S. Nelyubina
Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russian Federation

***The aim of the research** is to identify the influence of agrometeorological conditions, age of grass stand and sowing techniques (cover crop, sowing method) of variegated alfalfa Victoria on its seed productivity. The research was conducted in 2019–2023 on sod-podzolic medium loamy soil of the Udmurt Republic (Middle Cis-Urals). The meteorological conditions of the growing season in 2023 were characterized by significant dryness according to the hydrothermal coefficient (HTC – 0.63), in 2021 and 2022 – by dryness (HTC – 0.78 and 0.91), in 2020 – by slight dryness (HTC – 1.04) and in 2019 – by waterlogging (HTC – 1.73). The regrowth of alfalfa was noted during the years of research in the 2nd-3rd ten-day period of April; the vegetation period before harvesting the seeds lasted 124–142 days. Over four years of use, alfalfa has generated yields at a rather high level: in the first year of use – 570–759 kg/ha, in subsequent years – 234–309 kg/ha. On average, over the years of research, the highest yields were when alfalfa was sown in a wide–row (60 cm) manner under the cover of spring wheat or a vetch-oat mixture – 360 and 359 kg/ha, respectively. Agrometeorological conditions of the year influenced the yield of the crop (93.3 % of variability) and its structure indicators. In dry years, the height of alfalfa plants (88.5 % of variability) was*

74–84 cm, in wetter years – 108–119 cm; the weight of 1000 seeds (84.8 % of variability) was 1.88–2.39 g and 1.57–1.75 g, respectively. With aging of the herbage, the density of seed grass decreased from 289-420 to 192–260 pcs/m2, the number of pods per cluster from 8.6–10.2 to 6.3–8.0 pcs, the number of seeds in a pod (76.1 % of variability) – from 4.3–4.9 to 2.0–2.4 pcs. The number of clusters on a shoot and the number of pods in a cluster had an average positive effect on the level of seed productivity of alfalfa (r = 0.47 and r = 0.53, respectively).

Keywords: *Medicago varia* Mart, *cover crop, method of sowing, hydrothermal coefficient, age of the herbage, seed yield, yield structure, sowing qualities*

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

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

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

For citation: Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S. The influence of agrometeorological conditions and sowing tech-niques on seed productivity of variegated alfalfa in the Middle Cis-Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):639–649. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.639-649

Received: 12.03.2025 Accepted for publication: 16.06.2025 Published online: 30.06.2025

В настоящее время люцерну выращивают более чем в 80 странах. В России наибольшее распространение имеют люцерна изменчивая (*Medicago varia* Mart.), люцерна синяя (*Medicago sativa* L.) и люцерна желтая (*Medicago falcata* L.). С 1999 г. в культуру введена люцерна хмелевидная (*Medicago lupulina* L.) [1]. По мнению большинства авторов, одним из лучших видов для Нечерноземной зоны РФ является люцерна изменчивая [2, 3, 4]. Она отличается экологической пластичностью, относительным долголетием, высокой урожайностью и рядом других ценных качеств [5, 6, 7]. Для пестрогибридных сортов люцерны изменчивой характерны повышенная зимостойкость, долголетие, хорошая облиственность, высокая урожайность. Эти сорта распространены в Нечерноземной зоне, Предуралье, Восточной Сибири [5, 8, 9]. При возделывании люцерны в данных регионах необходимо обратить особое внимание на приспособленные к местным условиям сорта, обладающие зимостойкостью, устойчивостью к основным болезням и вредителям [5, 10, 11]. Широкое внедрение данной культуры в производство сдерживается дефицитом семян, трудностями возделывания люцерны в первый год жизни. Увеличение производства семян возможно при внедрении прогрессивных технологий ее возделывания [12]. При создании оптимальной густоты семенного травостоя люцерны особое значение имеет выбор покровной культуры и способа посева, от которых зависит ее рост и развитие, выживаемость, густота и высота травостоя [13, 14, 15].

Цель исследований – изучить влияние агрометеорологических условий, возраста травостоя и приемов посева (покровная культура, способ посева) люцерны изменчивой сорта Виктория на ее семенную продуктивность в условиях Удмуртской Республики (Среднее Предуралье).

Научная новизна – получены новые научные знания по урожайности семян, структуре урожайности, посевным качествам семян в урожае люцерны изменчивой сорта Виктория; выявлено влияние приемов посева, возраста травостоя (года пользования) и условий года на ее урожайность; установлены корреляционные зависимости между урожайностью семян и агрометеорологическими условиями, элементами структуры урожайности.

Материал и методы. В данной статье для определения влияния агрометеорологических условий, возраста травостоя (года пользования) и приемов посева люцерны изменчивой сорта Виктория результаты исследований приводятся в среднем по изучаемым факторам, полученным в рамках полевого двухфакторного опыта, проведенного в 2019–2023 гг. на опытном поле Удмуртского НИИСХ – филиала УдмФИЦ УрО РАН.

Схема опыта:

Фактор А. Покровная культура: А1 – без покрова (контроль); А2 – яровая пшеница (норма высева 4,2 млн шт/га); А3 – ячмень (норма высева 3,5 млн шт/га); А4 – вико-овсяная смесь на зеленый корм (норма высева 1,8 + 2,1 млн шт/га).

Фактор В. Способ посева: B_1 – широкорядный 60 см (норма высева 2,0 млн шт/га) (контроль); B_2 – широкорядный 30 см (норма высева 3,0 млн шт/га); B_3 – обычный рядовой 15 см (норма высева 4,0 млн шт/га).

Повторность вариантов в опыте 4-кратная, расположение методом расщепленных делянок. Общая площадь делянки 30 м^2, учетная – 20 м^2. В качестве абсолютного контроля принят вариант с посевом люцерны без покрова широкорядным (60 см) способом. Посев люцерны и покровных

культур проводили в 2019 г. сеялкой СН-16, норма высева покровных культур снижена на 30 % от рекомендуемой. На травостое люцерны первого – четвертого года пользования (1–4-го г.п.) после схода снега проводили боронование, подкормку минеральными удобрениями $N_{30}P_{30}K_{30}$ в виде нитроаммофоски. Учет семенной продуктивности осуществляли при побурении 85–90 % бобиков люцерны. Полевой опыт проводили согласно требованиям методики опытного дела в кормопроизводстве[1]. Существенность разницы в показаниях между вариантами определяли методом дисперсионного анализа, тесноту и форму связи – методом корреляционно-регрессионного анализа[2].

Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая с нейтральной (pH – 6,13) реакцией среды[3], низким (2,2 %) содержанием гумуса[4], очень высоким (346 мг/кг почвы) – подвижного фосфора и средним (101 мг/кг почвы) – обменного калия[5].

Метеоусловия вегетационного периода в год посева (2019 г.) люцерны были переувлажненными (гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянинову (ГТК) – 1,73), в годы пользования семенным травостоем (2020–2023 гг.) – засушливыми (ГТК – 0,63–1,04). Наиболее благоприятные условия для роста и развития люцерны в период отрастания и ветвления сложились в мае 2020 и 2021 гг., среднесуточная температура воздуха составила 13,2 и 16,9 °С, осадков выпало 35,4 и 21,2 мм соответственно. Менее благоприятные условия отмечены в 2022 г. – среднесуточная температура воздуха меньше среднемноголетних значений на 1,9 °С, сумма осадков составила 116 % нормы. Условия июня 2020, 2021 и 2023 гг. в период бутонизации и цветения люцерны по среднесуточной температуре воздуха были близки к среднемноголетнему значению, по количеству осадков характеризовались как засушливые. Семена люцерны в эти годы созрели в I-II декадах сентября. Неблагоприятные условия отмечены в 2022 г.: в июне на фоне пониженной среднесуточной температуры воздуха осадков выпало 183 % нормы, в августе – значительно засушливые условия. В этих условиях созревание семян наступило в I декаде октября.

Результаты и их обсуждение. В 2020–2023 гг. исследований отрастание люцерны наблюдали во II-III декадах апреля, самое раннее – 15 апреля 2020 г., позднее – 20 мая 2022 г. Уборку на семена проводили в период с 31 августа по 20 сентября (в 2022 г. – 10 октября), вегетационный период составил 124–142 дня. Решающее влияние на продолжительность вегетационного периода оказывали метеорологические условия – в засушливые годы длительность периода сокращалась.

По мнению большинства ученых [15, 16], широкорядный способ посева в семеноводстве люцерны должен быть основным. При данном способе обеспечивается оптимальное боковое освещение, фотосинтез идет более интенсивно, лучше работают насекомые-опылители. Возделывание люцерны на семена не исключает также использование покровных культур, оптимальные условия создаются под викоовсяной смесью, убранной на зеленый корм, и под ячменем – на зерно [13].

В наших исследованиях семенная продуктивность люцерны 1-го г. п. в незначительно засушливых условиях 2020 г. получена на уровне 570–759 кг/га. В среднем по вариантам относительно высокую урожайность семян обеспечил подпокровный посев люцерны (723–759 кг/га) широкорядным способом с междурядьями 30 и 60 см (695 и 705 кг/га соответственно).

В засушливых условиях 2021 г. урожайность люцерны 2-го г. п. составила 234–309 кг/га. Наибольшая урожайность семян отмечена в контрольном варианте (посев без покрова) и в варианте с использованием в качестве покровной культуры викоовсяной смеси – 309 и 308 кг/га соответственно. Широкорядный посев с междурядьем 60 см обеспечил наибольшую семенную продуктивность – 342 кг/га (табл. 1).

[1]Новоселов Ю. К., Киреев В. Н., Кутузов Г. П. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М., 1997. 156 с.
[2]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 416 с.
[3]ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf
[4]ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 6 с. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf
[5]ГОСТ 26207-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартиации и метрологии СССР, 1992. 7 с. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/c43/4294828273.pdf

Таблица 1 – **Урожайность семян люцерны изменчивой сорта Виктория в зависимости от покровной культуры, способа посева и года пользования (в среднем по факторам), кг/га /**
Table 1 – **The yield of Victoria varieties alfalfa seeds depending on the cover crop, the method of sowing and the year of use (on average by factors), kg /ha**

Прием / Cultivation technique	*Вариант / Variant*	*1-й г. п. / 1st year of use 2020 г.*	*2-й г. п. / 2nd year of use, 2021 г.*	*3-й г. п. / 3d year of use, 2022 г.*	*4-й г.п. / 4th year of use, 2023 г*	*В среднем / On average*
Покровная культура (в среднем по фактору А) / Cover culture (on average by factor A)	Без покрова (контроль) / Without cover (control)	570	309	75	252	302
	Яровая пшеница / Spring wheat	726	270	68	243	327
	Ячмень / Barley	723	234	61	267	321
	Викоовсяная смесь / Vetch and oat mixture	759	308	65	304	359
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	18	27	6	18	-
Способ посева (в среднем по фактору В) / The method of sowing (on average by factor B)	Широкорядный (60 см) (контроль) / Wide-row (60 cm) (control)	705	342	73	275	349
	Широкорядный (30 см) / Wide-row (30 cm)	695	258	66	266	321
	Обычный рядовой (15 см) / Ordinary row (15 cm)	684	241	63	260	312
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	14	20	5	11	-

В 2022 г. вегетационный период в целом характеризовался как засушливый, но при этом первая половина вегетации была холодной и дождливой (ГТК в мае – 1,57, в июне – 2,33), в связи с этим на 3-й г. п. семенная продуктивность люцерны снизилась до 61–75 кг/га. Наибольшая урожайность 75 кг/га сформировалась в контрольном варианте – беспокровный посев. Широкорядный посев с междурядьем 60 см обеспечил 73 кг/га семян.

На 4-й г.п. в значительно засушливых условиях вегетационного периода 2023 г. урожайность семян люцерны 243–304 кг/га получена на достаточно высоком уровне. В варианте с посевом под викоовсяную смесь урожайность люцерны 304 кг/га была существенно выше на 52 кг/га урожайности, полученной в контрольном варианте, $НСР_{05}$ – 18 кг/га. Широкорядный посев с междурядьем 30 см обеспечил урожайность 260 кг/га, на уровне контрольного варианта.

В среднем за четыре года пользования травостоем урожайность семян при посеве люцерны под покров (321–359 кг/га) превысила семенную продуктивность контрольного варианта с беспокровным посевом (302 кг/га). Широкорядный способ посева с междурядьем 60 см (контроль) обеспечил урожайность 349 кг/га, что выше в сравнении с другими способами – 312–321 кг/га. Анализ взаимодействия факторов показал, что наибольшая урожайность семян обеспечивалась посевом люцерны широкорядным (60 см) способом под покров яровой пшеницы либо викоовсяной смеси – 360 и 359 кг/га соответственно.

Важными показателями при оценке семенной продуктивности люцерны являются плотность семенного травостоя, количество соцветий (кистей), бобов и семян, приходящихся на один побег или единицу площади. К уборке плотность семенного травостоя люцерны 1-го г. п. составила 289–420 шт/м^2. Во 2–4-м г. п. количество генеративных побегов уменьшилось до 192–260 шт/м^2. Во все годы в вариантах с посевом люцерны под покров отмечено снижение количества генеративных побегов в сравнении с контрольным вариантом (посев без покрова). При широкорядном (60 см) посеве во 2-й и 3-й г.п. генеративных побегов (211 и 217 шт./м^2) также было существенно меньше, чем на семенном травостое, полученном при обычном рядовом посеве. Выявлена средняя обратная корреляционная зависимость (r = -0,33) урожайности семян люцерны от количества генеративных побегов (табл. 2).

Высота растений люцерны в 1-й г. п. была на уровне 108–112 см, во 2-й г. п. – 77–84 см, 3-й г. п. – 115–119 см, 4-й г. п. – 74–80 см. Низкорослость растений в данном случае многие авторы рассматривают как признак большей устойчивости растений к полеганию [14]. Изучаемые приемы посева влияли на данный показатель, в основном, в первый год пользования.

Таблица 2 – **Количество генеративных побегов и высота растений люцерны изменчивой сорта Виктория в зависимости от покровной культуры, способа посева и года пользования (в среднем по факторам, 2020–2023 гг.) /** *Table 2* – **The number of generative shoots and the height of Victoria varieties alfalfa plants, depending on the cover crop, the method of sowing and the year of use (on average by factors, 2020–2023)**

Прием / Cultivation technique	*Вариант / Variant*	*1-й г. п. / 1st year of use*	*2-й г. п. / 2nd year of use*	*3-й г. п. / 3d year of use*	*4-й г. п. / 4th year of use*
Генеративных побегов, шт/м^2 / Generative shoots, pcs/m^2					
Покровная культура (в среднем по фактору А) / Cover culture (on average by factor A)	Без покрова (контроль) / Without cover (control)	392	259	260	257
	Яровая пшеница / Spring wheat	289	233	213	245
	Ячмень / Barley	320	207	224	232
	Викоовсяная смесь / Vetch and oat mixture	420	192	252	200
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	37	23	17	23
Способ посева (в среднем по фактору В) / The method of sowing (on average by factor B)	Широкорядный (60 см) (контроль) / Wide-row (60 cm) (control)	362	211	217	240
	Широкорядный (30 см) / Wide-row (30 cm)	339	221	254	240
	Обычный рядовой (15 см) / Ordinary row (15 cm)	365	236	241	228
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	$F_ф<F_т$	20	11	$F_ф<F_т$
Высота растений, см / Height of plants, cm					
Покровная культура (в среднем по фактору А) / Cover culture (on average by factor A)	Без покрова (контроль) / Without cover (control)	112	84	117	79
	Яровая пшеница / Spring wheat	111	78	116	78
	Ячмень / Barley	108	77	118	74
	Викоовсяная смесь / Vetch and oat mixture	109	83	117	78
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	5	5	$F_ф<F_т$	2
Способ посева (в среднем по фактору В) / The method of sowing (on average by factor B)	Широкорядный (60 см) (контроль) / Wide-row (60 cm) (control)	109	82	118	80
	Широкорядный (30 см) / Wide-row (30 cm)	109	81	119	77
	Обычный рядовой (15 см) / Ordinary row (15 cm)	112	79	115	75
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	4	$F_ф<F_т$	$F_ф<F_т$	2

На каждом побеге люцерны в 1-й г. п. сформировалось 10,9–15,0 шт. кистей, во 2-й г. п. – 10,6–16,5 шт., в 3-й г. п. – 12,7–15,0 шт., в 4-й г. п. – 13,7–17,8 шт. Существенно большее количество кистей на побеге 13,8–17,8 шт. наблюдали на широкорядных посевах люцерны. На каждой кисти люцерны в 1-й г. п. находилось 8,6–10,2 шт. бобиков, во 2-й г. п. данный показатель снизился до 6,2–7,2 шт., в 3-й г. п. – до 5,0–6,1 шт., в 4-й г. п. – до 6,2–8,0 шт. Наибольшее количество бобиков на кисти 6,4-9,8 шт. также отмечали при широкорядных посевах. Выявлено, что количество кистей на побеге (r = 0,47) и бобиков на кисти (r = 0,53) оказывали среднее положительное влияние на уровень семенной продуктивности люцерны (табл. 3).

В каждом бобике сформировалось в 1-й г. п. 4,3–4,9 шт. семян, во 2-й г. п. количество семян снизилось до 3,1–3,8 шт., в 3-й г. п. – до 1,9–3,3 шт., в 4 г. п. – до 2,0–2,4 шт.

Анализ посевных качеств семян люцерны Виктории в урожае, проведенный после 6 месяцев покоя, показал, что лабораторная всхожесть в 1-й г. п. составила 75–88 %, во 2-й г. п. – 84–88 %, в 3-й г. п. – 76–83 %. В 4-й г. п. отмечена тенденция увеличения данного показателя до 93–97 %. Лабораторная всхожесть была существенно выше в вариантах с викоовсяной смесью в 1-й г. п. – 88 %, а также при широкорядном (60 см) посеве в 1-й и 2-й г. п. – 84 и 88 % соответственно. В 4-й г. п. изучаемые приемы посева не влияли ($F_ф<F_т$) на всхожесть семян (табл. 4).

Таблица 3 – **Продуктивность соцветия люцерны изменчивой сорта Виктория в зависимости от покровной культуры, способа посева и года пользования (в среднем по факторам, 2020–2023 гг.) /**
Table 3 – **Productivity of the inflorescence of Victoria varieties alfalfa depending on the cover crop, the method of sowing and the year of use (on average by factors, 2020–2023)**

Прием / Cultivation technique	*Вариант / Variant*	*1 г.п. / 1st year of use*	*2 г.п. / 2nd year of use*	*3 г.п. / 3d year of use*	*4 г.п. / 4th year of use*
Кистей на побеге, шт. / Clusters on the shoot, pcs.					
Покровная культура (в среднем по фактору А) / Cover culture (on average by factor A)	Без покрова (контроль) / Without cover (control)	15,0	12,0	15,0	17,1
	Яровая пшеница / Spring wheat	11,2	14,7	14,5	14,2
	Ячмень / Barley	12,9	16,3	12,7	15,2
	Викоовсяная смесь / Vetch and oat mixture	14,6	10,6	13,3	16,5
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	1,0	0,6	2,7	2,0
Способ посева (в среднем по фактору В) / The method of sowing (on average by factor B)	Широкорядный (60 см) (контроль) / Wide-row (60 cm) (control)	14,7	16,5	15,0	17,8
	Широкорядный (30 см) / Wide-row (30 cm)	14,6	10,8	13,8	15,8
	Обычный рядовой (15 см) / Ordinary row (15 cm)	10,9	12,9	12,9	13,7
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,8	0,6	2,0	1,4
Бобиков на кисти, шт. / Pods per cluster, pcs.					
Покровная культура (в среднем по фактору А) / Cover culture (on average by factor A)	Без покрова (контроль) / Without cover (control)	8,7	6,2	5,0	6,9
	Яровая пшеница / Spring wheat	8,9	6,4	5,8	6,2
	Ячмень / Barley	10,2	6,6	5,0	6,7
	Викоовсяная смесь / Vetch and oat mixture	8,8	7,1	6,1	8,0
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,4	$F_ф<F_т$	0,4	0,6
Способ посева (в среднем по фактору В) / The method of sowing (on average by factor B)	Широкорядный (60 см) (контроль) / Wide-row (60 cm) (control)	9,0	7,2	5,6	7,2
	Широкорядный (30 см) / Wide-row (30 cm)	9,8	6,4	5,2	7,3
	Обычный рядовой (15 см) / Ordinary row (15 cm)	8,6	6,3	5,6	6,3
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,6	0,6	0,3	0,6
Семян в бобике, шт. / Seeds per pods, pcs.					
Покровная культура (в среднем по фактору А) / Cover culture (on average by factor A)	Без покрова (контроль) / Without cover (control)	4,3	3,2	2,6	2,4
	Яровая пшеница / Spring wheat	4,8	3,2	2,1	2,4
	Ячмень / Barley	4,5	3,8	2,3	2,0
	Викоовсяная смесь / Vetch and oat mixture	4,8	3,1	2,5	2,0
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,5	0,4	0,2	$F_ф<F_т$
Способ посева (в среднем по фактору В) / The method of sowing (on average by factor B)	Широкорядный (60 см) (контроль) / Wide-row (60 cm) (control)	4,6	3,3	1,9	2,4
	Широкорядный (30 см) / Wide-row (30 cm)	4,4	3,4	2,7	2,2
	Обычный рядовой (15 см) / Ordinary row (15 cm)	4,9	3,3	2,5	2,1
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,3	$F_ф<F_т$	0,2	$F_ф<F_т$

Таблица 4 – **Посевные качества семян в урожае люцерны изменчивой сорта Виктория в зависимости от покровной культуры, способа посева и года пользования (в среднем по факторам, 2020–2023 гг.) /**
Table 4 – **Sowing qualities of seeds in the yield of Victoria varieties alfalfa depending on the cover crop, the method of sowing and the year of use (on average by factors, 2020–2023)**

Прием / Cultivation technique	*Вариант / Variant*	*1 г.п. / 1st year of use*	*2 г.п. / 2nd year of use*	*3 г.п. / 3d year of use*	*4 г.п. / 4th year of use*
Лабораторная всхожесть, % / Laboratory germination, %					
Покровная культура (в среднем по фактору А) / Cover culture (on average by factor A)	Без покрова (контроль) / Without cover (control)	76	87	81	95
	Яровая пшеница / Spring wheat	75	85	81	97
	Ячмень / Barley	80	84	76	96
	Викоовсяная смесь / Vetch and oat mixture	88	86	82	93
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	4	$F_ф<F_т$	2	$F_ф<F_т$
Способ посева (в среднем по фактору В) / The method of sowing (on average by factor B)	Широкорядный (60 см) (контроль) / Wide-row (60 cm) (control)	84	88	79	95
	Широкорядный (30 см) / Wide-row (30 cm)	76	85	83	97
	Обычный рядовой (15 см) / Ordinary row (15 cm)	80	85	78	95
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	3	2	2	$F_ф<F_т$
Твердосемянность, % / Hardness of seeds, %					
Покровная культура (в среднем по фактору А) / Cover culture (on average by factor A)	Без покрова (контроль) / Without cover (control)	59	69	27	36
	Яровая пшеница / Spring wheat	51	67	27	40
	Ячмень / Barley	50	69	20	35
	Викоовсяная смесь / Vetch and oat mixture	56	72	28	36
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	3	2	2	2
Способ посева (в среднем по фактору В) / The method of sowing (on average by factor B)	Широкорядный (60 см) (контроль) / Wide-row (60 cm) (control)	59	69	29	39
	Широкорядный (30 см) / Wide-row (30 cm)	52	70	25	37
	Обычный рядовой (15 см) / Ordinary row (15 cm)	52	69	23	35
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	2	$F_ф<F_т$	1	3
Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g					
Покровная культура (в среднем по фактору А) / Cover culture (on average by factor A)	Без покрова (контроль) / Without cover (control)	1,84	2,35	1,57	1,90
	Яровая пшеница / Spring wheat	1,81	2,33	1,67	1,88
	Ячмень / Barley	1,84	2,32	1,75	2,00
	Викоовсяная смесь / Vetch and oat mixture	1,83	2,34	1,71	1,94
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	$F_ф<F_т$	$F_ф<F_т$	0,06	$F_ф<F_т$
Способ посева (в среднем по фактору В) / The method of sowing (on average by factor B)	Широкорядный (60 см) (контроль) / Wide-row (60 cm) (control)	1,85	2,27	1,71	1,96
	Широкорядный (30 см) / Wide-row (30 cm)	1,84	2,39	1,64	1,90
	Обычный рядовой (15 см) / Ordinary row (15 cm)	1,81	2,35	1,68	1,94
	$НСР_{05}$ / LSD_{05}	$F_ф<F_т$	0,1	$F_ф<F_т$	$F_ф<F_т$

Следует отметить относительно высокую долю твердых семян в урожае люцерны, что связано как с биологическими особенностями люцерны, так и с засушливыми условиями вегетационных периодов в годы проведения исследований. В научной литературе имеются данные о снижении твердосемянности люцерны при увеличении продолжительности хранения семян [17, 18]. В наших исследованиях мы отметили снижение доли твердых семян с возрастом травостоя: с 50–59 % и 67–72 % в 1-й и 2-й г.п. до 20–29 и 35–40 % – в 3-й и 4-й г. п. соответственно.

Масса 1000 семян люцерны урожая 1-го г. п. составила 1,8–1,85 г, 2-го г. п. – 2,27–2,39 г, 3-го г. п. – 1,57–1,75 г., 4-го г. п. – 1,88–2,00 г.

Для определения величины и значимости влияния приемов посева (покровная культура, способ посева) и агрометеорологических условий года на формирование семенной продуктивности люцерны результаты эксперимента были обработаны методом трехфакторного дисперсионного анализа. Выявлено, что условия года оказывали большое влияние на урожайность семян люцерны – 93,3 % изменчивости (табл. 5).

Таблица 5 – **Влияние приемов посева и агрометеорологических условий года на признаки и урожайность семян люцерны изменчивой сорта Виктория, % /**
Table 5 – **The influence of sowing methods and agrometeorological conditions of the year on the traits and yield of Victoria varieties alfalfa seeds, %**

Признак / Trait	*Фактор / The factor*			*Сочетание факторов (ABC) / Combination of factors (ABC)*
	покровная культура (A) / cover culture (A)	*способ посева (B) / the method of sowing (B)*	*год (C) / year (C)*	
Урожайность семян / Seed yield	0,8	0,4	93,3	5,0
Генеративных побегов / Generative shoots	7,5	0,4	54,9	26,5
Высота растений / Height of plants	0,8	0,2	88,5	6,7
Семян в бобике / Seeds per pod	0,1	0,4	76,1	13,5
Масса 1000 семян / Weight of 1000 seeds	0,9	0,0	84,8	8,2
Лабораторная всхожесть / Laboratory germination	1,8	0,9	48,4	39,9
Твердосемянность / Hardness of seeds	1,5	1,3	79,6	10,4

Фактор «год» в значительной степени влиял на изменения показателей «высота растений» (88,5 %), «количество семян в бобике» (76,1 %), «масса 1000 семян» (84,8 %), «твердосемянность» (79,6 %). Установлено действие фактора «покровная культура» на количество генеративных побегов (7,5 %), взаимодействия факторов «покровная культура х способ посева х год» – на количество генеративных побегов (26,5 %), количество семян в бобике (13,5 %), лабораторную всхожесть семян (39,9 %) и их твердосемянность (10,4 %).

Выявлена корреляционная зависимость урожайности семян люцерны от агрометеорологических условий в определенные фазы ее развития. Так, наблюдалась средняя положительная зависимость урожайности от среднесуточной температуры воздуха (r = 0,58) в период отрастания и ветвления люцерны и средняя обратная зависимость от ГТК (r = -0,41). В период бутонизации и цветения люцерны значительное отрицательное влияние на уровень семенной продуктивности люцерны оказывали сумма осадков (r = -0,75) и ГТК (r = -0,75).

Заключение. За четыре года пользования семенным травостоем люцерны изменчивой сорта Виктория можно отметить, что данная культура в условиях Удмуртской Республики является засухоустойчивой, формирующей урожайность на достаточно высоком уровне: в 1-й г. п. – 570–759 кг/га, в последующие годы – 234–309 кг/га. В среднем за годы исследований наибольшая урожайность семян достигнута при посеве люцерны широкорядным (60 см) способом под покров яровой пшеницы либо вико-овсяной смеси – 360 и 359 кг/га соответственно.

Отмечено преимущественное влияние агрометеорологических условий на урожайность люцерны (93,3 % изменчивости) и показатели ее структуры. Высота растений люцерны (88,5 % изменчивости) в засушливые годы была на уровне 74–84 см, в более влажные – 108–119 см, масса 1000 семян (84,8 % изменчивости) – 1,88–2,39 г и 1,57–1,75 г соответственно. С возрастом травостоя отмечена тенденция снижения густоты семенного травостоя с 289–420 шт/м^2 в 1-й г. п. до 192–260 шт/м^2 в последующие г. п., количества бобиков на кисти – с 8,6–10,2 в 1-й г. п. до 6,3–8,0 шт. в 4-й г. п., количества семян в бобике (76,1 % изменчивости) – с 4,3–4,9 до 2,0–2,4 шт. соответственно. В то же время наблюдается снижение доли твердых семян (79,6 % изменчивости) с 50–59 и 67–72 % в 1-й и 2-й г. п. до 20–28 и 35–40 % в 3-й и 4-й г. п. соответственно. На уровень семенной продуктивности люцерны среднее положительное влияние оказывали количество кистей на побеге (r = 0,47) и количество бобиков на кисти (r = 0,53).

Список литературы

1. Тормозин М. А., Зырянцева А. А. Изучение коллекции люцерны в условиях Среднего Урала по основным хозяйственно ценным признакам. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(8):56–59. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10809 EDN: MZQEXQ

2. Фигурин В. А. «Осеверение» люцерны. Достижения науки и техники АПК. 2012;(11):28–30. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18231953 EDN: PIZFLP

3. Спиридонов А. М., Мазин А. М. Продуктивность сортов люцерны изменчивой и синей в условиях северо-запада России. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020;(60):16–22. DOI: https://doi.org/10.24411/2078-1318-2020-13016 EDN: LJZZGJ

4. Богатырева Е. В., Фоменко П. А., Щекутьева Н. А. Сравнительная характеристика сортов люцерны в условиях Вологодской области. АгроЗооТехника. 2021;4(4):1. DOI: https://doi.org/10.15838/alt.2021.4.4.1 EDN: KWOAMH

5. Степанова Г. В., Ионов А. А., Барсуков Н. М., Пьянков А. В. Сорта люцерны для северных регионов возделывания. Кормопроизводство. 2023;(11):32–36. DOI: https://doi.org/10.25685/krm.2023.11.2023.004 EDN: XVVNAW

6. Малышева Н. Ю., Ковалева Н. В., Родионенков А. И., Нагиев Т. Б. Новый для Северо-Запада сорт люцерны изменчивой (*Medicago varia* Mart.) Ариадна. Научные труды по агрономии. 2024;(1);5–12. DOI: https://doi.org/10.35244/2658-7963-2024-7-1-5-12 EDN: VHMAWI

7. Старцева А. В., Майсак Г. П. Сравнительная оценка культурных и дикорастущих форм люцерны изменчивой в коллекционном питомнике в условиях Среднего Предуралья. Кормопроизводство. 2024;(5):34–40. DOI: https://doi.org/10.30906/1562-0417-2024-5-34-40 EDN: PHWSXQ

8. Тормозин М. А., Чернявских В. И. Реализация продуктивного потенциала популяций *Medicago varia* Mart. в условиях Среднего Урала. Кормопроизводство. 2022;(10):18–22. DOI: https://doi.org/10.25685/KRM.2022.10.2022.003 EDN: QQEBVR

9. Пузиков А. Н., Момонов А. Х., Дубинин А. В. Продуктивность сортов люцерны изменчивой селекции Омского аграрного научного центра. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2024;(1(69)):44–50. DOI: https://doi.org/10.31563/1684-7628-2024-69-1-44-50 EDN: GVYZIM

10. Коконов С. И., Широбоков Е. Т., Рябова Т. Н. Агроэкологическая оценка сортов люцерны изменчивой (*Medicágo varia*) в условиях Удмуртской Республики. Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2020;(3(63)):4–9. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44445568 EDN: DCDLLP

11. Tormozin M. A., Zyryantseva A. A. Screening of promising selection samples of alfalfa variable in productivity and longevity. International Journal of Biology and Biomedical Engineering. 2020;(14):43–48. DOI: https://doi.org/10.46300/91011.2020.14.7

12. Rashidi M., Zand B., Abbassi S. Response of Seed Yield and Seed Yield Components of Alfalfa (*Medicago sativa*) to Different Seeding Rates. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences. 2009;(5(6)):786–790. URL: https://www.idosi.org/aejaes/jaes5(6)/10.pdf

13. Гущина В. А., Тимошкин О. А., Володькина Г. Н., Четвериков Ф. П. Семенная продуктивность люцерны изменчивой при различных способах выращивания. Аграрный научный журнал. 2021;(9):23–26. DOI: https://doi.org/10.28983/asj.y2021i9pp23-26 EDN: CJQMAM

14. Абасов М. Ш., Гаплаев М. Ш., Абасов Ш. М., Бекбулатов Р. Х., Элипханова М. Н. Продуктивность семенной люцерны в лесостепной зоне Чеченской Республики в зависимости от нормы высева. Кормопроизводство. 2023;(10):31–34. DOI: https://doi.org/10.25685/krm.2023.10.2023.004 EDN: QCEMOC

15. Дюкова Н. Н., Харалгин А. С. Приемы возделывания люцерны изменчивой в лесостепи Западной Сибири. Агропродовольственная политика России. 2024;(2-3(110)):63–69.
DOI: https://doi.org/10.35524/2227-0280_2024_02-03_63 EDN: NGCHQU

16. Нагибин А. Е., Тормозин М. А., Зырянцева А. А. Травы в системе кормопроизводства Урала. Екатеринбург: ИПП Уральский рабочий, 2018. 784 с.

17. Хадеев Т. Г., Лапина М. Ш. Приемы повышения полевой всхожести семян люцерны. Защита и карантин растений. 2012;(6):26. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17723775 EDN: OXWCAN

18. Игнатьев С. А., Регидин А. А., Грязева Т. В., Горюнов К. Н. Динамика изменения твердосемянности сортов люцерны в зависимости от сроков хранения семян. Зерновое хозяйство России. 2019;(6):46–49. https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-46-49 EDN: VALFIZ

References

1. Tormozin M. A., Zyryantseva A. A. Study of the alferency collection fund in the conditions of the Middle Urals on the basic economic-valuable signs. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2020;(34(8)):56–59. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10809

2. Figurin V. A. Making of alfalfa more northern crop. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2012;(11):28–30. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18231953

3. Spiridonov A. M., Mazin A. M. Productivity of variable and blue alfalfa varieties in the north-west of Russia. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2020;(60):16–22. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/2078-1318-2020-13016

4. Bogatyreva E. V., Fomenko P. A., Shchekut'eva N. A. Comparative analysis of alfalfa varieties in the Vologda oblast. *AgroZooTekhnika* = Agricultural and Lifestock Technology. 2021;4(4):1. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.15838/alt.2021.4.4.1

5. Stepanova G. V., Ionov A. A., Barsukov N. M., P'yankov A. V. Sorta lyutserny dlya severnykh regionov vozdelyvaniya. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2023;(11):32–36. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.25685/krm.2023.11.2023.004

6. Malysheva N. Yu., Kovaleva N. V., Rodionenkov A. I., Nagiev T. B. A new variety of alfalfa (*Medicago varia* Mart.) Ariadna for the north-west of Russia. *Nauchnye trudy po agronomii* = Research papers on agronomy. 2024;(1);5–12. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35244/2658-7963-2024-7-1-5-12

7. Startseva A. V., Maysak G. P. Comparative evaluation of cultivated and wild forms of *Medicago varia* Mart. in a collection nursery under the conditions of the Middle Urals. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2024;(5):34–40. DOI: https://doi.org/10.30906/1562-0417-2024-5-34-40

8. Tormozin M. A., Chernyavskikh V. I. Productive potential of *Medicago varia* Mart. in the Middle Urals. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2022;(10):18–22. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.25685/KRM.2022.10.2022.003

9. Puzikov A. N., Momonov A. Kh., Dubinin A. V. Productivity of alfalfa variegated varieties of the Omsk agrarian scientific center selection. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik Bashkir State Agrarian University. 2024;(1(69)):44–50. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31563/1684-7628-2024-69-1-44-50

10. Kokonov S. I., Shirobokov E. T., Ryabova T. N. Agroecological assessment of the alfalfa variable (*Medicágo varia*) in the conditions of the Udmurt Republic. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2020;(3(63)):4–9. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44445568

11. Tormozin M. A., Zyryantseva A. A. Screening of promising selection samples of alfalfa variable in productivity and longevity. International Journal of Biology and Biomedical Engineering. 2020;(14):43–48.
DOI: https://doi.org/10.46300/91011.2020.14.7

12. Rashidi M., Zand B., Abbassi S. Response of Seed Yield and Seed Yield Components of Alfalfa (*Medicago sativa*) to Different Seeding Rates. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences. 2009;(5(6)):786–790. URL: https://www.idosi.org/aejaes/jaes5(6)/10.pdf

13. Gushchina V. A., Timoshkin O. A., Volodkina G. N., Chetverikov F. P. Seed productivity of variegated alfalfa at different growing methods. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2021;(9):23–26. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.28983/asj.y2021i9pp23-26

14. Abasov M. Sh., Gaplaev M. Sh., Abasov Sh. M., Bekbulatov R. Kh., Elipkhanova M. N. The productivity of alfalfa seeds in the forest-steppe of the Chechen Republic as affected by seeding rates. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2023;(10):31–34. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25685/krm.2023.10.2023.004

15. Dyukova N. N., Kharalgin A. S. Cultivation methods of allfalfa in the forest-steppe of Western Siberia. *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii* = Agri-Food Policy in Russia. 2024;(2-3(110)):63–69. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35524/2227-0280_2024_02-03_63

16. Nagibin A. E., Tormozin M. A., Zyryantseva A. A. Grasses in the forage production system of the Ural. Ekaterinburg: *IPP Ural'skiy rabochiy*, 2018. 784 p.

17. Khadeev T. G., Lapina M. Sh. Techniques for increasing the germination rate of alfalfa in the field. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2012;(6):26. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17723775

18. Ignatiev S. A., Regidin A. A., Gryazeva T. V., Goryunov K. N. Dynamics of alfalfa seed hardness change depending on the seed storage time. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2019;(6):46–49. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-46-49

Сведения об авторах

✉ **Касаткина Надежда Ивановна**, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина 1, с. Первомайский, Завьяловского района, Российская Федерация 427067, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0725-2254

Нелюбина Жанна Сергеевна, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина 1, с. Первомайский, Завьяловского района, Российская Федерация 427067, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5751-9557

Information about the authors

✉ **Nadezhda I. Kasatkina**, DSc in Agricultural Science, leading researcher, Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», st. Lenin, 1, v. Pervomaisky, Zavialovsky district, Russian Federation, 427067, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0725-2254**

Zhanna S. Nelyubina, DSc in Agricultural Science, leading researcher, Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», st. Lenin, 1, v. Pervomaisky, Zavialovsky district, Russian Federation, 427067, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5751-9557**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.650–662
УДК 636.4:636.082

(cc) BY

Современные проблемы разведения крупного рогатого скота в России

© 2025. В. И. Чинаров ✉
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация

Федеральная и региональные службы государственной статистики не ведут раздельного учета поголовья животных в молочном и мясном скотоводстве, а также породной структуры поголовья. Однако, основываясь на официальных данных по объему произведенного молока и продуктивности по категориям хозяйств в каждом регионе, количеству коров в молочном скотоводстве определяется достаточно точно расчетным методом. Последней переписью породного состава на сельскохозяйственных предприятиях, проведенной в 1990 году, зафиксированы уникальность и своеобразие генофонда отечественного скотоводства. На протяжении нескольких десятилетий оценку породных преобразований проводили по результатам бонитировок крупного рогатого скота, которые охватывают около 17 % поголовья. Но из-за российской специфики породного учета в племенных хозяйствах назрела необходимость проведения породной инвентаризации. На основе новых данных стало возможным не только проследить эволюцию популяций пород, но и получить объективную оценку уровня развития и состояния племенной работы в российском скотоводстве. За три года породной инвентаризации больше всего скота (542,5 тыс. гол.) было переведено в голштинскую (536,1 тыс. гол) и другие породы из активной части черно-пестрой популяции. В результате отсутствия государственной политики в области племенного дела, судя по активной части маточного стада, молочное скотоводство России в настоящее время на 2/3 представлено голштинской породой. Массовый переход к монопородному разведению и предоставление преференций иностранным производителям племенного материала стали основными причинами глубокой стагнации отечественного животноводства. На основе комплексной оценки скотоводства России подготовлены предложения по выводу отрасли в режим расширенного воспроизводства.

Ключевые слова: *породы, скотоводство, генетические ресурсы, генофонд, расширенное воспроизводство, экономическая эффективность*

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (тема № FGGN-2024-0013).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Чинаров В. И. Современные проблемы разведения крупного рогатого скота в России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):650–662. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.650-662

Поступила: 10.02.2025 Принята к публикации: 16.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Modern problems of cattle breeding in Russia

© 2025. Vladimir I. Chinarov ✉
Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region, Russian Federation

The federal and regional state statistics services do not keep separate records of the number of animals in dairy and beef cattle breeding, as well as the breed structure of the livestock. However, based on official data on the volume of milk produced and productivity by category of farms in each region, the number of cows in dairy farming is determined fairly accurately by calculation. The last census of the breed composition at agricultural enterprises, conducted in 1990, recorded the uniqueness and originality of the gene pool of domestic cattle breeding. For several decades, breed transformations have been assessed based on the results of cattle breeding, which covers about 17 % of the livestock. However, due to the Russian specifics of breed accounting in breeding farms, it is necessary to conduct a breed inventory. Based on the new data, it has become possible not only to trace the evolution of breed populations, but also to obtain an objective assessment of the level of development and the state of breeding work in Russian cattle breeding. During the three years of the breed inventory, the most livestock (542.5 thousand head) were transferred to the Holstein (536.1 thousand head) and other breeds from the active part of the black-and-white population. As a result of the lack of a state policy in the field of breeding, judging by the active part of the royal stock, dairy cattle breeding in Russia is currently represented by 2/3 of the Holstein breed. The massive transition to

monobred breeding and the granting of preferences to foreign producers of breeding material have become the main reasons for the deep stagnation of domestic animal husbandry. Based on a comprehensive assessment of Russian cattle breeding, proposals have been prepared to bring the industry into extended reproduction mode.

Keywords: *breeds, cattle breeding, genetic resources, gene pool, extended reproduction, economic efficiency*

Acknowledgements: the work was carried out under the financial 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-2024-0013).

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

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

For citation: Chinarov V. I. Modern problems of cattle breeding in Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):650–662. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.650-662

Received: 10.02.2025 Accepted for publication: 16.06.2025 Published online: 30.06.2025

По нашим расчетам, из-за низкой покупательной способности большей части населения России за последние 14 лет емкость внутреннего рынка молочной продукции в натуральном выражении выросла всего на 2,4 %, а по говядине снизилась на 26,5 %. При постепенном увеличении доли отечественного производителя на молочном рынке с 79,7 до 83,5 %, а по мясу крупного рогатого скота (КРС) с 69,4 до 89,0 %, самообеспечение по молочной продукции выросло с 60,5 до 64,8 % за счет наращивания (+10,0 %) объемов производства при стремительном росте (+42,4 %) удоев. При сокращении (-4,0 %) объемов производства говядины самообеспечение на внутреннем рынке снизилось с 60,7 до 56,9 % за счет резкого уменьшения (-16,9 %) поголовья крупного рогатого скота в России, в том числе маточного поголовья почти на 1,4 млн голов. Ориентируясь на оплаченный спрос на внутреннем рынке и развиваясь в соответствии с общемировыми тенденциями [1], в отечественном скотоводстве произошли существенные количественные [2] и структурные преобразования. При сокращении общего поголовья КРС более чем на 3,5 млн голов, доля мясного скотоводства практически осталась прежней и составила на конец 2023 года 28,8 %, но структура стада в молочном и мясном скотоводстве изменилась (табл. 1).

Доля коров в молочном стаде снизилась с 57,5 до 52,4 %, а в мясном увеличилась с 8,1 до 24,0 %. В целом поголовье коров за этот период в России уменьшилось на 15,4 %, но в мясном скотоводстве оно выросло в 2,5 раза, а в молочном сократилось почти на 2,1 млн голов. Итогом интенсификации всех отраслей скотоводства стало увеличение доли мясных коров с 5,3 до 15,6 %, наращивание производства говядины в мясном скотоводстве и рост его удельного веса с 6,4 до 16,4 %. Несмотря на определенный прогресс, этих темпов недостаточно, и молочное скотоводство еще долго будет оставаться основным поставщиком говядины на внутренний рынок [3, 4, 5].

Продолжившееся в 2023 году сокращение поголовья КРС в России было связано с качественными преобразованиями в молочном и мясном скотоводстве. Впервые за несколько десятилетий выросло не только общее поголовье в молочном скотоводстве, но и, что особенно важно, количество коров молочного направления продуктивности. Одновременно в мясном скотоводстве при сокращении маточного поголовья продолжился процесс наращивания коров специализированных мясных пород. В результате замены помесных животных на скот специализированных мясных пород только за последний год производство мясного и помесного КРС на убой увеличилось на 7,6 % при сокращении общего поголовья в отрасли на 10,4 %. Все эти положительные изменения в отечественном скотоводстве не могли быть достигнуты без укрепления племенной базы [6].

Цель работы – оценить состояние породных популяций и разработать предложения по территориальному размещению КРС для перевода отечественного скотоводства в состояние расширенного воспроизводства.

Научная новизна – теоретическое обоснование методических подходов для разработки концепции развития скотоводства России на основе внутренних ресурсов в рамках решения вопросов обеспечения продовольственной независимости страны.

Материал и методы. Проведенные исследования и авторские расчеты выполнены на основе официальных и опубликованных в открытой печати данных Федеральной службы государственной статистики, Федеральной таможенной службы, Министерства сельского хозяйства Российской Федерации и ежегодных бонитировок КРС в хозяйствах Российской Федерации.

Таблица 1 – **Поголовье крупного рогатого скота в хозяйствах всех категорий Российской Федерации /**
Table 1 – **The number of cattle in farms of all categories of the Russian Federation**

Показатель / Indicator	*Период (на конец года) / Period (at the end of the year)*			*Изменение / Change*	
	2009 г.[1]	*2022 г.*[1]	*2023 г.*[1]	*за 13 лет / for 13 years*	*за 1 год / for 1 year*
Скотоводство, всего / Cattle breeding, in total					
Крупный рогатый скот, тыс. гол. / Cattle, ths. heads	20540,0	17489,0	17067,9	-3051,0	-421,2
в т.ч. коровы / incl. cows	8924,9	7734,7	7546,8	-1190,3	-187,9
выращивание и откорм / raising and fattening	11615,1	9754,4	9521,1	-1860,7	-233,3
Доля коров в стаде, % / The proportion of cows in the herd, %	43,5	44,2	44,2	+0,7 п.п.	+0,0 п.п.
Быки-производители, гол. / Bulls producers, heads	11518	8744	7178	-2774,0	-1566
Молочное скотоводство / Dairy cattle breeding					
Крупный рогатый скот, тыс. гол. / Cattle, ths. headss	14694,1	12005,2	12154,8	-2688,9	+149,6
в т. ч. коровы / incl. cows	8454,1	6338,1	6369,0	-2116,0	+30,9
выращивание и откорм / raising and fattening	6240,0	5667,1	5785,8	-572,9	+118,7
Доля коров в стаде, % / The proportion of cows in the herd, %	57,5	52,8	52,4	-4,7 п.п.	-0,4 п.п.
Быки-производители, гол. / Bulls producers, heads	5025	1597	1642	-3428,0	+45
Мясное скотоводство, всего / Beef cattle breeding, total					
Крупный рогатый скот, тыс. гол. / Cattle, ths. headss	5845,9	5483,8	4913,1	-362,0	-570,8
в т. ч. коровы / incl. cows	470,8	1396,6	1177,8	+925,7	-218,8
выращивание и откорм / raising and fattening	5375,0	4087,3	3735,3	-1287,8	-352,0
Доля коров в стаде, % / The proportion of cows in the herd, %	8,1	25,5	24,0	+17,4 п.п.	-1,5 п.п.
Быки-производители, гол. / Bulls producers, heads	6493	7147	5536	+654,0	-1611
Скот специализированных мясных пород / Cattle of specialized meat breeds					
Крупный рогатый скот, тыс. гол. / Cattle, ths. heads	416,2	2459,8	2203,4	+2043,6	-256,4
в т. ч. коровы / incl. cows	171,0	1136,3	1145,8	+965,3	+9,5
выращивание и откорм / raising and fattening	245,2	1323,5	1057,6	+1078,3	-265,9
Доля коров в стаде, % / The proportion of cows in the herd, %	41,1	46,2	52,0	+5,1п.п.	+5,8 п.п.
Помесный скот / Mixed cattle					
Крупный рогатый скот, тыс. гол. / Cattle, ths. heads	5429,7	3024,0	2709,7	-2405,6	-314,4
в т. ч. коровы / incl. cows	299,8	260,2	32,0	-39,6	-228,3
выращивание и откорм / raising and fattening	5129,8	2763,8	2677,7	-2366,1	-86,1
Доля коров в стаде, % / The proportion of cows in the herd, %	5,5	8,6	1,2	-3,1п.п.	-7,4 п.п.

Примечание: [1] – рассчитано автором по материалам официальных данных Росстата (rosstat.gov.ru) и Минсельхоза России (mcx.gov.ru) /

Notes: [1] – calculated by the author based on official data from Rosstat (rosstat.gov.ru) and the Ministry of Agriculture of Russia (mcx.gov.ru)

Результаты и их обсуждение. Стратегические направления развития племенного дела в молочном и мясном скотоводстве за прошедшие 14 лет полностью совпадали, количество племенных стад сокращалось, а маточное поголовье росло. Но поскольку темпы этих преобразований в молочном скотоводстве были существенно выше, и поголовье скота в товарных хозяйствах в отличие от мясного скотоводства сокращалось, то доля племенного скота в молочном скотоводстве возросла с 9,8 до 17,6 %, а в мясном, наоборот, снизилась с 23,2 до 10,4 %. Несмотря на то, что поголовье племенного скота выросло на 24,0 %, количество племенных хозяйств в скотоводстве сократилось на 29,1 %. Поло-

жительным моментом является также увеличение доли коров в стадах как в молочном, так и мясном скотоводстве. В племенном молочном скотоводстве из-за низкого выхода делового молодняка для нормального воспроизводства в 2023 году требовалось дополнительно 49,4 тыс. нетелей, а импортировано было 15,4 тыс. голов (табл. 2).

Таблица 2 – **Племенное скотоводство России /**
Table 2 – **Pedigree cattle breeding in Russia**

Показатель / Indicator	*2009 г.*[1]	*2023 г.*[2]	*Изменение / Change*
Молочное скотоводство / Dairy cattle breeding			
Количество племенных хозяйств / Number of breeding farms	1322	894	-428
Крупный рогатый скот, тыс. гол. / Cattle, ths. heads	1441,2	1827,3	+386,1
в том числе коровы / incl. cows	825,1	1124,0	+298,9
Доля коров в стаде, % / The proportion of cows in the herd, %	57,3	61,5	+4,2 п.п.
Быки племенных предприятий, голов / Bulls of breeding enterprises, heads	1473	1492	+19
Доля племенного скота, % / Proportion of breeding cattle, %	9,8	17,6	+7,8п.п.
Продано нетелей, тыс. гол. / Heifers sold, ths. heads	67,2	103,9	+36,7
Введено первотелок, тыс. гол. / The first-calve heifers introduced, ths. heads	164,4	273,7	+109,3
в том числе: собственной репродукции / including: own reproduction	57,4	156,8	+99,4
покупных / purchased	107,0	116,9	+9,9
из них импортных / some of them are imported	40,1	15,4	-24,7
Доля первотелок в стаде, % / The proportion of first-calve heifers in the herd, %	19,9	24,4	+4,5 п.п.
Выбыло коров, тыс. гол. / Cows were eliminated, ths. heads	141,6	307,8	+166,2
Процент выбраковки коров, % / Percentage of cow culls, %	18,6	27,0	+8,4 п.п.
Выращено нетелей, тыс. гол. / heifers grown, ths. heads	124,6	260,7	+136,1
Естественная убыль (-), прирост (+), тыс. коров / Natural decrease (-), increase (+), ths. cows	85,6	-49,4	-135,0
Экспорт нетелей, тыс. гол. / Export of heifers, ths. heads	0,3	2,4	+2,1
Импортозависимость, % / Import dependence, %	32,2	5,9	-26,3 п.п.
Импортопотребление, % / Import consumption, %	24,4	5,6	-18,8 п.п.
Доля импортных нетелей на внутреннем рынке, % / The proportion of imported heifers in the domestic market, %	37,5	13,1	-24,4 п.п.
Самообеспечение нетелями, % / Self-sufficiency in heifers, %	88,0	84,7	-3,3 п.п.
Мясное скотоводство, всего / Beef cattle breeding, total			
Количество племенных хозяйств, шт. / Number of breeding farms, pcs.	226	205	-21
Крупный рогатый скот, тыс. гол. / Cattle, ths. heads	242,2	259,6	+17,4
в т.ч. коровы / Incl. cows	109,1	122,8	+13,7
Доля коров в стаде, % / The proportion of cows in the herd, %	45,0	47,3	+2,3 п.п.
Быки племенных предприятий, гол. / Bulls of breeding enterprises, heads	939	827	-112
Доля племенного скота, % / Proportion of breeding cattle, %	23,2	10,4	-12,8 п.п.
Продано нетелей, тыс. гол. / Heifers sold, ths. heads	15,5	16,2	+0,6

Примечание: [1] – рассчитано автором по материалам Ежегодников по племенной работе в молочном и мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2009 г.); [2] – рассчитано автором по материалам Ежегодников по племенной работе в молочном и мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023 г.) /

Notes: [1] – calculated by the author based on the materials of the Yearbooks on breeding in dairy and beef cattle breeding in the farms of the Russian Federation (2009); [2] – calculated by the author based on the materials of the Yearbooks on breeding in dairy and beef cattle breeding in the farms of the Russian Federation (2023)

Проблема сокращения племенных хозяйств нарастала по мере повышения конкурентоспособности [7] отечественного племенного скотоводства и выхода на международные рынки племенной продукции. Тем не менее в нарушение всякой логики о проведении суверенной политики в области племенного скотоводства [8], в России практикуется продажа и передача в оперативное управление нерезидентам племенных хозяйств и организаций в независимости от их статуса. Таким фактом является окончательный переход в 2019 году под управление ООО «ЭКОНИВА-АПК ХОЛДИНГ» (98 % долей принадлежит Федеративной Республике Германия) крупного племенного хозяйства ОАО «МосМедынь-агропром» Калужской области, занимавшееся совершенствованием и чистопородным разведением скота трех пород, которое в следующем году прекратило племпродажу, но в то же время из Германии было импортировано более 13 тыс. племенных нетелей.

Более того, бессистемная голштинизация и переориентация отечественного молочного скотоводства на монопороду привели к тому, что в племенных стадах все эти годы стремительно нарастала естественная убыль (разница между количеством выращенных нетелей и количеством выбывших коров) маточного стада. Поэтому для сохранения в стране племенного молочного скотоводства за анализируемый период, по данным Федеральной таможенной службы, было импортировано более 600 тыс. нетелей, 90 % которых голштинской породы. Полностью оценить масштабы преобразований в скотоводстве России позволила проводимая породная инвентаризация. За три года ее проведения доля голштинского скота в породной структуре племенных хозяйств выросла с 32,1 до 80,2 % в основном за счет перевода из черно-пестрой породы, доля которой снизилась с 43,0 до 5,0 %. Наведение порядка в породном учете позволяет не только оценить эволюцию пород, но и спрогнозировать развитие генофонда [9]. По нашему мнению, генофонд – это районированные породные популяции, обладающие уникальными количественными и качественными характеристиками, используемыми человеком в хозяйственно-производственной деятельности. В отличие от генетических ресурсов, являющихся абстрактным научным термином, генофонд КРС в процессе селекционно-племенной работы постоянно развивается. Поэтому сохранение генетического разнообразия мы связываем не с созданием коллекций замороженного семени быков-производителей и эмбрионов, а с постоянным совершенствованием пород и типов крупного рогатого скота. При этом нельзя допускать к широкому использованию в разведении КРС (кроме научных целей) семени, замороженного более 10 лет назад. Как видно из данных таблиц 3 и 4, практически все породы в период с 2009 по 2023 год существенно эволюционировали и нарастили не только продуктивный потенциал, но и улучшили остальные хозяйственно полезные признаки. Племенная работа в молочном скотоводстве в первую очередь была направлена на повышение продуктивности, выступающей наравне с текущей ценовой конъюнктурой рынка [10] в качестве основного фактора, предопределяющего конкурентоспособность отрасли [11]. Удой коров за 305 дней лактации традиционных отечественных пород (ярославская, бурая швицкая, холмогорская, красно-пестрая и костромская) увеличился больше чем в 1,5 раза, при этом длительность продуктивного использования сократилась на 5,1–22,3 % (табл. 3).

Одновременно все эти породы стали более «скороспелыми», поэтому требуется меньше труда и средств на выращивание нетелей. В действующей системе ценообразования [12, 13], когда только производство молока было рентабельным видом деятельности в молочном скотоводстве, вполне оправданным является стремительное увеличение (в 3,6 раза) количества племенных хозяйств, занимавшихся разведением скота голштинской породы. Массово завозимый скот этой породы был успешно адаптирован российскими селекционерами не только в направлении реализации генетического потенциала продуктивности, но и значительно прибавил в продуктивном долголетии. Лидером же в эволюционном развитии является одна из самых малочисленных породных популяций – красный горбатовский скот.

В мясном скотоводстве на фоне значительного увеличения поголовья абердин-ангусского скота породные преобразования шли более медленными темпами. Повысилась средняя молочность коров на 8,6 % и средняя живая масса бычков к 18 месяцам на 6,5 %, но обострилась проблема с воспроизводством и сохранностью молодняка (табл. 4).

Таблица 3 – **Породные преобразования в молочном скотоводстве России** /
Table 3 – **Breed transformations in dairy cattle breeding in Russia**

Порода / Breed	*Пробонитированное поголовье коров, тыс. гол. / Tested number of cows, ths. heads*			*Удой, кг / Milk yield, kg*			*Длительность продуктивного использования коров, дни / Duration of productive use of cows, days*			*Пожизненное производство молочного жира и белка, кг / Lifetime production of milk fat and protein, kg*			*Возраст при 1-ом отеле, дни / Age at 1st calving, days*		
	2009 г.[1]	*2023 г.*[2]	*2023 г. в % к 2009 г.*	*2009 г.*[1]	*2023 г.*[2]	*2023 г. в % к 2009 г.*	*2009 г.*[3]	*2023 г.*[4]	*2023 г. в % к 2009 г.*	*2009 г.*[3]	*2023 г.*[4]	*2023 г. в % к 2009 г.*	*2009 г.*[3]	*2023 г.*[4]	*2023 г. в % к 2009 г.*
Айрширская / Ayrshire	64,6	44,0	68,2	5310	7793	146,8	1062	1076	101,3	1140	1771	155,4	848	773	91,2
Кавказская бурая / Caucasian brown	0,5	1,3	234,9	2660	2873	108,0	1937	2021	104,3	1032	1142	110,6	910	831	91,3
Бестужевская / Bestuzhevskaya	17,7	4,1	22,9	3713	4620	124,4	1496	1551	103,7	1048	1364	130,2	894	889	99,4
Бурая швицкая / Brown Shvitskaya	35,0	11,4	32,6	3681	5993	162,8	1269	1087	85,7	894	1338	149,6	960	817	85,1
Голштинская / Holstein	98,4	1041,7	1058,9	6323	9787	154,8	629	808	128,5	795	1599	201,0	817	731	89,4
Горный скот Дагестана / Mountain cattle of Dagestan	0,2	0,2	129,4	1880	1920	102,1	2712	1566	57,8	1047	623	59,5	901	855	94,9
Джерсейская / Jersey	0,9	13,9	1542,2	5374	6488	120,7	831	922	110,9	1155	1617	140,0	786	710	90,3
Истобенская / Istobenskaya	0,5	0,5	100,0	3618	4588	126,8	1084	1589	146,6	785	1525	194,2	866	1065	123,0
Костромская / Kostromskaya	10,4	4,6	44,0	4518	6786	150,2	1153	1094	94,9	988	1534	155,3	940	846	90,0
Красная горбатовская / Krasnaya Gorbatovskaya	1,4	0,2	14,6	3809	5342	140,2	1407	2316	164,7	1119	2660	237,8	944	946	100,2
Красная датская / Red Danish	-	3,9		-	8143	-	-	842	-	-	1449		-	751	
Красная степная / Krasnaya Stepnaya	98,8	35,3	35,7	4248	5671	133,5	981	1009	102,9	826	1167	141,3	889	845	95,1
Красная эстонская / Red Estonian	1,9	0,3	14,4	3723	5180	139,1	950	1445	152,2	669	1554	232,3	961	961	100,0
Красно-пестрая / Red-mottled	102,6	45,5	44,4	4773	7227	151,4	1134	955	84,2	1049	1414	134,9	905	838	92,6
Монбельярдская / Montbeliardskaya	-	2,5		-	7981		-	1030		-	1662		-	736	
Симментальская / Simmental	188,4	50,6	26,9	3760	6089	161,9	1148	1076	93,8	816	1320	161,6	898	844	94,0
Суксунская / Suksunskaya	1,5	1,3	85,5	3639	6102	167,7	1308	1827	139,7	895	2265	253,2	918	924	100,7
Сычевская / Sychevskaya	13,4	3,1	23,4	3401	4788	140,8	1399	1434	102,5	888	1392	156,8	955	926	97,0
Тагильская / Tagilskaya	0,1	0,1	77,0	3362	3686	109,6	2450	1248	50,9	1548	931	60,1	916	874	95,4
Холмогорская / Kholmogorskaya	180,9	43,6	24,1	4639	7488	161,4	1194	1019	85,3	1035	1510	145,9	883	798	90,4
Черно-пестрая / Black and motley	1135,6	258,5	22,8	5067	7305	144,2	1046	947	90,5	1008	1372	136,2	879	800	91,0
Шведиш Рэд / Swedish Red	-	0,2	-	-	9029	-	-	1066	-	-	2175	-	-	810	-
Якутский скот / Yakut cattle	-	0,3	-	-	858	-	-	3568	-	-	608	-	-	1183	-
Ярославская / Yaroslavskaya	48,1	18,3	38,0	4134	6956	168,3	1349	1049	77,7	1100	1487	135,2	907	831	91,6
Все породы / All breeds	2001,6	1585,3	79,2	4843	8838	182,5	1073	874	81,5	995	1564	157,3	882	758	85,9

Примечание: [1] – данные из Ежегодников по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2009 г.); [2] – данные из Ежегодников по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023 г.); [3] – рассчитано автором по материалам Ежегодников по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2009 г.); [4] – рассчитано автором по материалам Ежегодников по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023 г.) /

Notes: [1] – data from Yearbooks on breeding work in dairy cattle breeding in farms of the Russian Federation (2009); [2] – data from Yearbooks on breeding work in dairy cattle breeding in farms of the Russian Federation (2023); [3] – calculated by the author based on the materials of the Yearbooks on breeding in dairy cattle breeding in the farms of the Russian Federation (2009); [4] – calculated by the author based on the materials of the Yearbooks on breeding in dairy cattle breeding in the farms of the Russian Federation (2023)

Таблица 4 – **Породные преобразования в мясном скотоводстве России /**
Table4 – **Breed transformations in beef cattle breeding in Russia**

Порода / Breed	*Пробонитированное поголовье коров, тыс. гол. / Tested number of cows, ths. heads*			*Средняя живая масса телят к отъему, кг / Average live weight of calves for weaning, kg*			*Выращено телят к отъему на 100 коров, гол. / Calves were raised for weaning per 100 cows, heads*			*Средняя живая масса бычков в 18 месяцев, кг / Average live weight of calves at 18 months, kg*		
	2009 г.[1]	*2023 г.*[2]	*2023 г. в % к 2009 г.*	*2009 г.*[1]	*2023 г.*[2]	*2023 г. в % к 2009 г*	*2009 г.*[3]	*2023 г.*[4]	*2023 г. в % к 2009 г*	*2009 г.*[3]	*2023 г.*[4]	*2023 г. в % к 2009 г*
Абердин-ангусская / Aberdeen Angus	4,9	23,4	481,8	195	220	112,7	73	77	105,1	520	505	97,1
Бланк-блю бельж / Blanc-blue belge	-	0,1	-	-	245	-	-	33	-	-	601	-
Галовейская / Gallowayskaya	0,7	1,4	210,8	166	195	118,0	81	72	88,9	371	389	104,9
Герефордская / Herefordskaya	31,8	40,0	125,8	207	213	102,7	74	64	86,1	465	501	107,7
Казахская белоголовая / Kazakh white-headed	25,0	24,1	96,3	194	209	107,4	83	69	83,2	443	484	109,3
Калмыцкая / Kalmytskaya	60,5	50,8	83,9	169	188	111,3	89	71	80,4	412	424	102,9
Лимузин / The Limo breed	1,8	1,0	58,7	217	237	109,2	63	37	57,7	440	495	112,5
Обрак / Aubrac	1,2	1,0	81,2	193	193	99,9	65	33	50,5	506	559	110,5
Русская комолая / Russian komolaya	0,4	0,5	113,9	156	207	132,6	92	61	66,3	420	440	104,8
Салерс / Salers	0,6	0,0	3,9	196	205	104,8	54	33	61,9	519	534	102,9
Санта-гертруда / Santa Gertrude	-	0,1	-	-	184	-	-	64	-	-	356	-
Симментальская мясная / Simmental Meat	3,4	1,3	38,4	227	233	102,5	73	36	49,0	510	531	104,2
Шароле / Charolaise	3,2	0,4	12,2	253	251	99,2	69	91	130,8	546	564	103,3
Все породы / All breeds	133,6	144,3	108,0	188	204	108,6	82	69	84,0	445	474	106,5

Примечание: [1] – данные из Ежегодников по племенной работе в мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2009 г.); [2] – данные из Ежегодников по племенной работе в мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023 г.); [3] – рассчитано автором по материалам Ежегодников по племенной работе в мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2009 г.); [4] – рассчитано автором по материалам Ежегодников по племенной работе в мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023 г.) /

Notes: [1] – data from Yearbooks on breeding work in beef cattle breeding in farms of the Russian Federation (2009); [2] – data from Yearbooks on breeding work in beef cattle breeding in farms of the Russian Federation (2023); [3] – calculated by the author based on the materials of the Yearbooks on breeding in beef cattle breeding in the farms of the Russian Federation (2009); [4] – calculated by the author based on the materials of the Yearbooks on breeding in beef cattle breeding in the farms of the Russian Federation (2023)

В мясном скотоводстве, также как и в молочном, нет универсальной породы, которая одинаково подходила бы для всех природно-экономических условий. За счет массового импорта животных и племенного материала абердин-ангусская порода к 2018 году стала доминирующей в мясном скотоводстве России, поголовье которой стало сокращаться и в 2023 году маточное стадо уменьшилось еще на 64,5 тыс. коров, особенно в регионах, наименее пригодных для ее разведения. Поэтому при относительно высоких показателях воспроизводства за 1 год доля абердин-ангусского скота в породной структуре мясного скотоводства снизилась с 33,9 до 28,0 %.

Эффективность разведения КРС и устойчивость в развитии генофонда во многом зависит от адаптационных способностей пород [14, 15] и соответствия кормовой базе региона [16]. Рассмотрение породных популяций в региональном разрезе показало существенные различия в эффективности разведения не только между породами, но и в зависимости от региона их разведения (табл. 5).

Комплексно оценив через стоимостной показатель все хозяйственно полезные признаки и качество получаемой продукции, лучшие экономические результаты среди районированного скота в Центральном федеральном округе (ЦФО) были у пород: сычевской, черно-пестрой, красной-датской, айрширской, бурой швицкой, казахской белоголовой; Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) – черно-пестрой, айрширской, красной эстонской, голштинской, ярославской, абердин-ангусской и лимузин; Южном федеральном округе (ЮФО) – бурой швицкой, симментальской, казахской белоголовой, абердин-ангусской и калмыцкой; Приволжском федеральном округе (ПФО) – красной горбатовской и калмыцкой; Уральском федеральном округе (УФО) – симментальской, голштинской и герефордской; Сибирском федеральном округе (СФО) – черно-пестрой и казахской белоголовой; Дальневосточном федеральном округе (ДФО) – черно-пестрой и абердин-ангусской; Северо-Кавказском федеральном округе (СКФО) – кавказской бурой и герефордской. В то же время при оценке породных популяций с позиции расширенного воспроизводства для ускоренного наращивания желательно разводить следующие породы в ЦФО: – сычевская, черно-пестрая и абердин-ангусская; СЗФО – красная эстонская, черно-пестрая и лимузин; ЮФО – черно-пестрая, абердин-ангусская и калмыцкая; ПФО – красная горбатовская и калмыцкая; УФО – черно-пестрая и герефордская; СФО – черно-пестрая и казахская белоголовая; ДФО – черно-пестрая и галовейская; СКФО – кавказская бурая и казахская белоголовая. Поскольку в зависимости от критерия оценки получены разные результаты, необходимы компромиссные решения, которые таже учитывают, что из 35 анализируемых пород 14 разводятся только в одном регионе и их необходимо сохранить как генофонд. Для этого была построена математическая модель, в алгоритм решения которой заложено 18 вложенных логических операторов, позволяющих подобрать оптимальную породную структуру для каждого региона. Соблюдение баланса между высокой доходностью и темпами расширенного воспроизводства является основой устойчивого развития скотоводства. По нашим расчетам, по мере сокращения завоза скота из других стран, в российском скотоводстве имеются все предпосылки для ведения расширенного воспроизводства на основе следующих районированных пород (табл. 6).

Безусловно, приведенный в таблице 6 региональный список пород не является исчерпывающим, и сельскохозяйственные организации, успешно разводящие другие породы в регионах, должны продолжить работу по их совершенствованию и получить статус генофондных хозяйств в порядке и в соответствии с перечнем генофондных пород, утвержденных Минсельхозом России в методических рекомендациях по проведению породной инвентаризации племенного поголовья КРС молочного направления продуктивности.

Заключение. Породное разнообразие районированных популяций КРС является безусловным конкурентным преимуществом молочного и мясного скотоводства России. Концептуальным направлением в решении проблем продовольственной безопасности и импортозамещения на внутреннем рынке молочной продукции и говядины является устойчивое развитие скотоводства на основе укрепления племенной базы в общей системе крупномасштабной суверенной селекции для ускоренного разведения районированных пород с использованием новых знаний в области

Таблица 5 – **Эффективность разведения племенного скота в России /**
Table 5 – **Efficiency of breeding livestock in Russia**

Порода / Breed	*Производство продукции в расчете на корову за весь период использования, тыс. руб. / Production per cow for the entire period of use, ths. rub.*						*Коэффициент воспроизводства породной популяции, % / Reproduction rate of the breed population, %*								
	ЦФО / CFD	*СЗФО / NWFD*	*ЮФО / SFD*	*ПФО / VFD*	*УФО / UFD*	*СФО / SFD*	*ДФО / FEFD*	*СКФО / NCFD*	*ЦФО / CFD*	*СЗФО / NWFD*	*ЮФО / SFD*	*ПФО / VFD*	*УФО / UFD*	*СФО / SFD*	*ДФО / FEFD*	*СКФО / NCFD*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Айрширская / Ayrshire	1069	1057	764	1320		774		969	10,1	9,2	5,2	14,5		1,5		6,3
Кавказская бурая / Caucasian brown	-	-	-	-	-	-	-	1087	-	-	-	-	-	-	-	31,9
Бестужевская / Bestuzhevskaya	-	-	-	834	-	-	-	-	-	-	-	-1,7	-	-	-	-
Бурая швицкая / Brown Shvitskaya	1066	-	1405	1117	-	-	-	788	5,6	-	-2,0	4,1	-	-	-	3,2
Голштинская / Holstein	900	1007	798	920	926	909	718	662	3,0	5,5	-1,6	4,9	4,9	5,0	-0,8	-7,3
Горный скот Дагестана / Mountain cattle of Dagestan	-	-	-	-	-	-	-	673	-	-	-	-	-	-	-	20,8
Джерсейская / Jersey	870	-	-	-	-	-	-	759	-8,8	-	-	-	-	-	-	-16,5
Истобенская / Istobenskaya	659	-	-	859	-	-	-	-	-19,5	-	-	1,4	-	-	-	-
Костромская / Kostroma	929								1,1	-	-	-	-	-	-	-
Красная горбатовская / Krasnaya Gorbatovskaya	-	-	-	1827	-	-	-	-	-	-	-	26,4	-	-	-	-
Красная датская / Red Danish	1087								-6,3							
Красная степная / Krasnaya Stepnaya	-	-	731	922	-	770	-	747	-	-	6,9	15,6	-	6,7	-	11,3
Красная эстонская / Red Estonian	-	1021	-	-	-	-	-	-	-	18,1	-	-	-	-	-	-
Красно-пестрая / Red-mottled	929	-	516	908	-	643	-	-	7,8	-	0,9	9,0		-2,5		-
Монбельярдская / Montbeliardskaya	839	-	595	-	-	-	-	-	-4,5	-	-16,7	-	-	-	-	-
Симментальская / Simmental	968		1299	947	948	683	1004	852	2,2		9,1	7,1	-0,6	-1,6	14,4	11,9
Суксунская / Suksunskaya	-	-	-	1270	-	-	-	-	-	-	-	8,3	-	-	-	-
Сычевская / Sychevskaya	1125	-	-	-	-	-	-	-	18,8	-	-	-	-	-	-	-
Тагильская / Tagilskaya	-	-	-	576	-	-	-	-	-	-	-	1,4	-	-	-	-

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Холмогорская / Kholmogorskaya	834	962	-	996	-	-	712	-	6,3	10,3	-	5,6	-	-	6,4	-
Черно-пестрая / Black and motley	1123	1105	978	1169	823	1093	1396	-	17,8	17,4	18,4	23,0	13,7	19,1	24,2	-
Якутский скот / Yakut cattle	-	-	-	-	-	-	812	-	-	-	-	-	-	-	12,9	-
Ярославская / Yaroslavskaya	882	999	-	-	-	-	-	305	9,2	14,2	-	-	-	-	-	-21,7
В среднем по молочным породам / Average for dairy breeds	929	1021	818	961	924	881	788	734	4,4	6,3	0,5	6,9	4,7	5,6	5,5	3,9
Абердин-ангусская / Aberdeen Angus	452	644	484	475	255	324	587	383	31,5	25,8	23,7	14,0	10,6	9,0	11,5	17,7
Бланк-блю бельж / Blanc-blue belge	82	-	-	-	-	-	-	-	-16,6	-	-	-	-	-	-	-
Галовейская / Gallowayskaya	118	-	-	-	-	343	347	-	-2,8	-	-	-	-	17,2	25,9	-
Герефордская / Herefordskaya	125	290	303	393	381	540	442	569	-0,6	2,3	10,7	14,6	12,0	23,5	15,8	14,5
Казахская белоголовая / Kazakh white-headed	591	-	493	293	-	690	576	468	17,8	-	15,7	0,8	-	35,0	18,6	26,1
Калмыцкая / Kalmytskaya	-	-	465	600	-	168	501	338	-	-	23,5	24,4	-	-18,9	12,4	13,1
Лимузин / The Limo breed	-	626		141	-	-	-	-	-	30,7	-	-24,2	-	-	-	-
Обрак / Aubrac	-	-	-	-	302	-	-	-	-	-	-	-	9,0	-	-	-
Русская комолая / Russian komolaya	-	-	323	-	-	-	-	-	-	-	1,8	-	-	-	-	-
Салерс / Salers	-	-	-	-	101	-	-	-	-	-	-	-	-29,4	-	-	-
Симментальская мясная / Simmental Meat	144	-	-	-	108	-	-	-	-4,9	-	-	-	-1,7	-	-	-
Шароле / Charolaise	-	499	-	-	-	-	-	-	-	17,7	-	-	-	-	-	-
В среднем по мясным породам / The average for meat breeds	426	635	472	385	335	548	517	411	26,1	25,5	22,2	11,3	10,9	25,5	15,2	17,0
Молочное скотоводство в % к мясному / Dairy cattle breeding as a percentage of meat	218,1	160,8	173,3	249,6	275,8	160,8	152,4	178,6	16,8	24,7	2,1	61,2	43,1	22,0	36,0	23,0

Здесь и далее: ЦФО – Центральный федеральный округ; СЗФО – Северо-Западный федеральный округ; ЮФО – Южный федеральный округ; ПФО – Приволжский федеральный округ; УФО – Уральский федеральный округ; СФО – Сибирский федеральный округ; ДФО – Дальневосточный федеральный округ; СКФО – Северо-Кавказский федеральный округ /

CFD – The Central Federal District; NWFD – North-Western Federal District; SFD – Southern Federal District; VFD – Volga Federal District; UFD – Ural Federal District; SFD – Siberian Federal District; FEFD – Far Eastern Federal District; NCFD – North Caucasus Federal District

Таблица 6 – **Размещение пород для ведения расширенного воспроизводства и сохранения генетических ресурсов скотоводства России /**
Table 6 – **Placement of breeds for extended reproduction and conservation of genetic resources of cattle breeding in Russia**

ЦФО / CFD	*СЗФО / NWFD*	*ЮФО / SFD*	*ПФО / VFD*	*УФО / UFD*	*СФО / SFD*	*ДФО / FEFD*	*СКФО / NCFD*
Молочное скотоводство / Dairy cattle breeding							
Сычевская / Sychevskaya	Красная эстонская / Red Estonian	Черно-пестрая / Black and motley	Красная горбатовская / Krasnaya Gorbatovskaya	Черно-пестрая / Black and motley	Черно-пестрая / Black and motley	Черно-пестрая / Black and motley	Кавказская бурая / Caucasian brown
Черно-пестрая / Black and motley			Черно-пестрая / Black and motley				
Айрширская / Ayrshire	Черно-пестрая / Black and motley		Красная степная / Krasnaya Stepnaya		Красная степная / Krasnaya Stepnaya		Горный скот Дагестана / Mountain cattle of Dagestan
Ярославская / Yaroslavskaya			Айрширская / Ayrshire				
Красно-пестрая / Red-mottled	Ярославская / Yaroslavskaya		Красно-пестрая / Red-mottled			Симментальская / Simmental	
Бурая швицкая / Brown Shvitskaya			Суксунская / Suksunskaya				
Костромская / Kostroma	Холмогорская / Kholmogorskaya	Симментальская / Simmental	Симментальская / Simmental	Голштинская / Holstein	Голштинская / Holstein	Якутский скот / Yakut cattle	Симментальская / Simmental
Красная датская / Red Danish			Холмогорская / Kholmogorskaya				
Монбельярдская / Montbeliardskaya	Айрширская / Ayrshire		Бурая швицкая / Brown Shvitskaya				
Джерсейская / Jersey	Голштинская / Holstein		Тагильская / Tagilskaya				Айрширская / Ayrshire
			Истобенская / Istobenskaya				
			Бестужевская / Bestuzhevskaya				
Мясное скотоводство / Beef cattle breeding							
Абердин-ангусская / Aberdeen Angus	Лимузин / Limusin	Абердин-ангусская / Aberdeen Angus	Калмыцкая / Kalmytskaya	Герефордская / Herefordskaya	Казахская белоголовая / Kazakh white-headed	Галовейская / Gallowayskaya	Казахская белоголовая / Kazakh white-headed
Казахская белоголовая / Kazakh white-headed	Абердин-ангусская / Aberdeen Angus	Калмыцкая / Kalmyk	Герефордская / Herefordskaya	Обрак / Aubrac	Герефордская / Herefordskaya	Казахская белоголовая / Kazakh white-headed	
Симментальская мясная / Simmental Meat	Шароле / Charolaise	Казахская белоголовая / Kazakh white-headed	Абердин-ангусская / Aberdeen Angus	Салерс / Salers-	Галовейская / Gallowayskaya	Калмыцкая / Kalmyk	Герефордская / Herefordskaya
Бланк-блю бельж / Blanc-blue belge		Русская комолая / Russian komolaya				Абердин-ангусская / Aberdeen Angus	

геномной селекции, эмбриональных технологий и систем кормления крупного рогатого скота, обеспечивающих реализацию генетического потенциала и сохранения продуктивного долголетия. За счет наращивания поголовья и совершенствования генофонда отечественные товаропроизводители, в рамках решения проблемы импортозамещения, ежегодно смогут заменять в рационе каждого жителя нашей страны 8-9 кг импортного молока и 700–750 г импортной говядины [17].

Список литературы

1. Тихомиров А. И. От экономического роста к экономическому развитию: соотношение и эволюция дефиниций. Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2024;(3):48–54. DOI: https://doi.org/10.55186/2658-3569-2024-3-48-54 EDN: TWCCTG

2. Чинаров В. И. Количественный и породный состав крупного рогатого скота России. Молочное и мясное скотоводство. 2022;(4):9–13. DOI: https://doi.org/10.33943/MMS.2022.42.15.002 EDN: SQCNMU

3. Шамина О. В. Роль мясного скотоводства в формировании мясного баланса России. Russian Journal of Management. 2023;11(2):184–190. DOI: https://doi.org/10.29039/2409-6024-2023-11-2-184-190 EDN: YGHQNW

4. Баутина О. В. Эффективность использования крупного рогатого скота черно-пестрой, айрширской и симментальской пород. Подольск: ФИЦ животноводства – ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста, 2022. 104 с.

5. Китаев Ю. А. Особенности развития молочного скотоводства в России и за рубежом. Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021;(1(29)):167–172. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=45684613 EDN: GUIZXJ

6. Тихомиров А. И. Организационно-экономические проблемы развития животноводства России. Подольск: ВНИИЖ имени академика Л. К. Эрнста, 2019. 194 с.

7. Чинаров В. И. Конкурентоспособность молочного скотоводства Российской Федерации. Молочное и мясное скотоводство. 2018;(5):3–7. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=35606274 EDN: XZIUAP

8. Тихомиров А. И. Региональные особенности государственной поддержки молочного скотоводства. Экономика сельского хозяйства России. 2022;(11):77–81. DOI: https://doi.org/10.32651/2211-77 EDN: VRPXII

9. Баутина О. В. Оценка динамики развития молочного скотоводства в региональном и породном аспектах. Техника и технологии в животноводстве. 2021;(2(42)):18–22. DOI: https://doi.org/10.51794/27132064-2021-2-18 EDN: DWSJRZ

10. Стрекозов Н. И., Чинаров В. И., Баутина О. В. Ценообразование на рынке молока и его роль в повышении конкурентоспособности молочного скотоводства. Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2011;(1(28)):6–8. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=18485391 EDN: PONKNT

11. Баутина О. В. Повышение конкурентоспособности производителей молока. Достижения науки и техники АПК. 2012;(11):9–11. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=18231946 EDN: PIZFIX

12. Баутина О. В. Ценообразование в молочнопродуктовом подкомплексе. Зоотехния. 2011;(11):26–27. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=17059089 EDN: OJHXKB

13. Калеев Н. В., Кучин Н. Н., Рейн А. Д. Экономическая эффективность молочно-продуктового подкомплекса. Княгинино: НГИЭИ, 2022. 246 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=63982534 EDN: VHWDHR

14. Тихомиров А. И. Организационно-экономические аспекты оценки эффективности развития и использования ресурсного потенциала животноводства. Экономика сельского хозяйства России. 2024;(8):93–102. DOI: https://doi.org/10.32651/248-93 EDN: KGXTYE

15. Баутина О. В. Тенденции, особенности и экономическая эффективность породного размещения крупного рогатого скота в регионах России. Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2021;(6):13–16. DOI: https://doi.org/10.31442/0235-2494-2021-0-6-13-16 EDN: IZAVMQ

16. Чинаров В. И. Экономическая оценка питательности кормов. АПК: Экономика, управление. 1995;(3)49.

17. Чинаров В. И., Шамина О. В. Экономические аспекты сохранения генофонда и расширенного воспроизводства в молочном и мясном скотоводстве России. Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2025;(3):2–11. DOI: https://doi.org/10.31442/0235-2494-2025-0-3-2-11 EDN: CRCWRS

References

1. Tikhomirov A. I. From economic growth to economic development: relationship and evolution of definitions. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologiy Integral* = International Journal of Applied Sciences and Technology Integral. 2024;(3):48–54. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.55186/2658-3569-2024-3-48-54

2. Chinarov V. I. Quantitative and breed composition of Russian cattle. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2022;(4):9–13. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33943/MMS.2022.42.15.002

3. Shamina O. V. The role of beef cattle breeding in the formation of the meat balance of Russia. Russian Journal of Management. 2023;11(2):184–190. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.29039/2409-6024-2023-11-2-184-190

4. Bautina O. V. Efficiency of using black-and-white, Ayrshire and Simmental cattle breeds. Podol'sk: *FITs zhivotnovodstva – VIZh im. akademika L. K. Ernsta*, 2022. 104 p.

5. Kitaev Yu. A. Features of development of dairy cattle breeding in Russia and abroad. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy* = Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives. 2021;(1(29)):167–172. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=45684613

6. Tikhomirov A. I. Organizational and economic problems of livestock development in Russia. Podol'sk: *VNIIZh imeni akademika L. K. Ernsta*, 2019. 194 p.

7. Chinarov V. I. Competitiveness of Russian milk industry. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2018;(5):3–7. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=35606274

8. Tikhomirov A. I. Regional features of state support dairy cattle breeding. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* = Economics of Agriculture of Russia. 2022;(11):77–81. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32651/2211-77

9. Bautina O. V. Dairy cattle breeding development dynamics evaluation in the regional and bred aspects. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* = Machinery and technologies in livestock. 2021;(2(42)):18–22. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.51794/27132064-2021-2-18

10. Strekozov N. I., Chinarov V. I., Bautina O. V. Pricing in the milk market and its role in increasing the competitiveness of dairy cattle breeding. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2011;(1(28)):6–8. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=18485391

11. Bautina O. V. Seasonal competition in the market of milk. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2012;(11):9–11. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=18231946

12. Bautina O. V. Pricing in milk food subcomplex. *Zootekhniya*. 2011;(11):26–27. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=17059089

13. Kaleev N. V., Kuchin N. N., Reyn A. D. Economic efficiency of the dairy-food subcomplex. Knyaginino: *NGIEI*, 2022. 246 p. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=63982534

14. Tikhomirov A. I. Organizational and economic aspects of assessing the effectiveness of development and use of the resource potential of livestock farming. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* = Economics of Agriculture of Russia. 2024;(8):93–102. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32651/248-93

15. Bautina O. V. Trends, features and economic efficiency of breed placement of cattle in the regions of Russia. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy* = Economy of agricultural and processing enterprises. 2021;(6):13–16. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31442/0235-2494-2021-0-6-13-16

16. Chinarov V. I. Economic assessment of feed nutrition. *APK: Ekonomika, upravlenie*. 1995;(3)49. (In Russ.).

17. Chinarov V. I., Shamina O. V. The economic aspects of maintaining the gene pool and promoting extended reproduction at Russian dairy and beef cattle industries. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy* = Economy of agricultural and processing enterprises. 2025;(3):2–11. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31442/0235-2494-2025-0-3-2-11

Сведения об авторе

✉ **Чинаров Владимир Иванович**, доктор экон. наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г.о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132,
e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0001-8475-0391**, e-mail: vchinaror@yandex.ru

Information about the author

✉ **Vladimir I. Chinarov**, DSc in Economics, senior researcher, chief researcher, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8475-0391, e-mail: vchinaror@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА/VETERINARY MEDICINE

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.663–670
УДК 638.15-07:638.154.6

(cc) BY

Инфестация пчелиных семей *Apis mellifera* L. клещом рода *Tropilaelaps* spp. в условиях России

© 2025. А. З. Брандорф[1]✉, Л. Хинган[2], Н. Циншенг[2]
[1]*ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация*
[2]*Научно-исследовательский институт пчеловодства провинции Цзилинь, г. Цзилинь, Китай*

В последние годы в Российской Федерации отмечается массовая гибель пчелиных семей, которая обусловлена в том числе появлением нового заболевания тропилелапсоза. Ранее считалось, что клещ рода Tropilaelaps не может поражать пчелиные семьи в Евразии, но в 2021 году в Краснодарском крае РФ обнаружена инфестация пчелиных семей Tropilelaps mercedesae. Цель работы – изучить особенности инфестации пчелиных семей клещом рода Tropilelaps в России. В 2022–2024 гг. проведены исследования в Краснодарском крае, изучены морфометрические признаки клещей, а также проведено сравнение с клещами других популяций из Дагестана, Абхазии, Грузии, Китая, Индии (n = 200). Проведен сравнительный анализ способов диагностики с выявлением достоверного (n = 10). Для сравнительной диагностики использованы способы: визуальный; смыва с использованием спирта; вскрытия расплода; естественной смертности. Выявлено, что степень инфестации расплода более 35 % регистрируется в пчелиных семьях с июля по октябрь, с февраля по апрель клещ в расплоде не наблюдается, количество клещей в одной ячейке изменяется в течение года. Выявлен эффективный способ диагностики инфестации пчелиных семей – вскрытие печатного расплода, что позволяет диагностировать поражение пчелиных семей в ранние сроки. Способом визуальной оценки диагностируется заболевание при поражении расплода более 30 %. Клещи из Краснодарского края отличаются по размерам спинного щитка от других исследуемых популяций, соотношение длины к ширине у них в среднем меньше на 10 % по сравнению с клещами из Грузии, Абхазии, Китая и Индии. С целью выявления формирования отдельных популяций, адаптированных к определенным природно-климатическим условиям, необходимо дальнейшее изучение клеща Tropilelaps mercedesae.

Ключевые слова: *медоносная пчела, тропилелапсоз, спинной щиток, эпигинальная пластина, вентральная пластина, диагностика*

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.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Брандорф А. З., Хинган Л., Циншенг Н. Инфестация пчелиных семей *Apis mellifera* L. клещом рода *Tropilaelaps* spp. в условиях России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):663–670.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.663-670

Поступила: 12.05.2025 Принята к публикации: 23.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Infestation of *Apis mellifera* L. bee colonies by a mite of the genus *Tropilaelaps* spp. in the conditions of Russia

© 2025. Anna Z. Brandorf[1] ✉, Li Xing'an[2], Niu Qingsheng[2]
[1]*Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation*
[2]*Jilin Provincial Institute of Apicultural Sciences, Jilin, China*

In recent years, there has been a massive loss of bee colonies in the Russian Federation, which is caused, among other things, by the appearance of a new disease, Tropilopsis. Previously, it was believed that a mite of the genus Tropilaelaps could not infect bee colonies in Eurasia, but in 2021, an infestation of bee colonies Tropilelaps mercedesae was discovered in the Krasnodar Region of the Russian Federation. The aim of the research is to study the features of the infestation of bee colonies by a mite of the genus Tropilelaps in Russia. In 2022–2024 studies were conducted in the Krasnodar Region, the morphometric characteristics of ticks were studied, and a comparison was made with mites from other populations: the Republics of Dagestan and Abkhazia, Georgia, China, and India (n = 200). A comparative analysis of diagnostic methods was carried out with the identification of reliable (n = 10). For comparative diagnosis, the following methods were used: visual, alcohol flushing, brood uncapping, natural mortality. It was revealed that more than 35 % of the infection rate is recorded in bee colonies from July to

October, no mite was detected in the brood from February to April, and the number of mites in one cell varies throughout the year. An effective way to diagnose the infestation of bee colonies by a tick has been identified – uncapping of sealed brood, which makes it possible to diagnose the lesion of bee colonies at an early stage. The visual assessment method makes it possible to diagnose the disease when the brood is affected by more than 30 %. Mites from the Krasnodar Region differ in the size of the dorsal shield from other populations studied, their length-to-width ratio is on average less than 10 % compared with mites from Georgia, the Republic of Abkhazia, China and India. In order to identify the formation of individual populations adapted to certain natural and climatic conditions the further study of the Tropilelaps mercedesae mite is necessary.

Keywords: *honey bee, Tropilelapsosis, dorsal shield, epigynial plate, ventrianal plate, diagnostics*

Acknowledgments: the research was supported by Russian Science Foundation grant No. 25-26-00169, https://rscf.ru/en/project/25-26-00169

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

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

For citation: Brandorf A. Z., Xing'an L., Qingsheng N. Infestation of *Apis mellifera* L. bee colonies by a mite of the genus *Tropilaelaps* spp. in the conditions of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):663–670. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.663-670

Received: 12.05.2025 Accepted for publication: 23.06.2025 Published online: 30.06.2025

В мировом пчеловодстве отмечается ряд факторов, негативно влияющих на жизнедеятельность медоносных пчел (*Apis mellifera* L.), у которых появляются новые паразиты и другие заболевания. В прошлом столетии в результате интродукции медоносных пчел в ареал обитания китайской восковой пчелы (*Apis cerana* Fab.) у *Apis mellifera* L. появился новый вид паразитических клещей рода варроа, который в процессе адаптации сформировал новый вид *Varrroa destructor*. Его появление в 1964 году в пчелиных семьях на Дальнем Востоке вызвало массовую гибель пчелиных семей, а в последующие 20 лет клещ варроа распространился по всей территории СССР, в настоящее время является паразитом медоносных пчел во всем мире. Даже несмотря на существенную изоляцию пчел в Австралии и строгий запрет на бесконтрольный ввоз, в 2022 году клещ появился в пчелиных семьях и в этом регионе [1].

В 2021 году впервые на территории Российской Федерации в Краснодарском крае был обнаружен клещ рода *Tropilaelaps* spp. [2]. Клещи из рода *Tropilaelaps* spp. (класс *Arachinda,* подкласс *Acari*, вид *Parasitoformes*, подотряд *Mesostigmata*, семейство *Laelapidae*) первоначально были известны как эктопаразиты азиатских гигантских медоносных пчел (*Apis dorsata, Apis laboriosa*, *Apis breviligula* и др.). Позднее в составе рода *Tropilaelaps* spp. было идентифицировано четыре вида (*T. clareae, T. mercedesae, T. koenigerum, T. thaiis*). Данные виды клещей и их хозяева (пчелы) на протяжении многих лет коэволюционировали, поэтому вред, наносимый *Tropilaelaps* spp., для них незначителен [3]. Первые два вида (*T. clareae* и *T. mercedes*) поражают популяции западной медоносной пчелы *Apis mellifera* L., два других (*T. koenigerum* и *T. thaii*), по мнению исследователей, безвредны для нее [4, 5]. Впервые *T. clareae* был обнаружен у *Apis mellifera* L. на Филиппинах в 1960 [6], в настоящее время встречается на большей части территории Азии и заражает интродуцированных медоносных пчел [7]. Это распространенная проблема, с которой сегодня сталкиваются пчеловоды в Пакистане и других странах Азии [8]. В результате поражения пчелиных семей клещами *Tropilaelaps* spp. личинки и куколки рабочих пчел и трутней погибают или появляются нежизнеспособные особи. У мертвых личинок наблюдается потеря блеска, изменение формы тела; у некоторых мертвых личинок передний конец выступает из ячейки. При последующем повреждении личинок клещами они превращаются в куколок, из которых выходят уродливые пчелы (с деформированными лапками, крыльями, брюшком), они неспособны летать, покидают улей и ползают по земле. При слабой инвазии клещом *Tropilaelaps* spp. пчелы выходят с деформированными конечностями и крыльями, они не способны к полетам и работе внутри улья. Сильно пораженная пчелиная семья обычно погибает [9].

Tropilaelaps spp. считается паразитом только расплода, в связи с этим ранее предполагалось, что данный вид паразита не может поражать медоносных пчел на территории СССР, а тем более Российской Федерации, так как природно-климатические условия не благоприятны для круглогодичного наличия расплода в семьях. Учитывая, что *Tropilaelaps* spp. питается только на расплоде (личинках и куколках), он не может выжить в пчелиных семьях в странах, где у пчелиных маток отмечается репродукционная диапауза, по разным данным

самки клещей погибают через 2–10 дней, если они не откладывают яйца [10].

Глобальное изменение климата, неконтролируемый импорт и перемещение пчел разного породного происхождения – благоприятные условия для распространения тропилелапсоза на территории Евразии в ближайшие годы, как это произошло с предыдущим эктопаразитом медоносных пчел *Varroa destructor*. Первым признаком заражения *Tropilaelaps* spp. часто является появление красно-коричневых удлиненных клещей, быстро передвигающихся по сотам или пчелам, взрослые клещи видны невооруженным глазом. Тело клещей скорее длиннее, чем шире, что обеспечивает им бóльшую подвижность на сотах и между волосками на теле пчелы.

В 2022 году описаны признаки тропилелапсоза в пчелиных семьях медоносных пчел в Узбекистане [11], в 2024 году – Грузии [12] и Республике Казахстан [13].

В современном пчеловодстве существует глобальная угроза распространения *Tropilaelaps* spp., чему способствует бесконтрольное перемещение пчелиных маток и семей между странами. Актуальным вопросом является изучение биологических особенностей развития клеща рода *Tropilaelaps* spp. в неэндемичных для него условиях Российской Федерации.

Цель исследований – изучить особенности инфестации пчелиных семей клещом рода *Tropilelaps* spp. в России.

Научная новизна – впервые проведено изучение развития клеща рода *Tropilaelaps* spp. в пчелиных семьях *Apis mellifera* L. в природно-климатических и медосборных условиях Российской Федерации, проанализированы особенности морфологического строения популяции клеща из пчелиных семей Краснодарского края в сравнении с клещами из других регионов и стран.

Материал и методы. Исследования проведены в период с 2022 по 2024 год на пасеке, расположенной в Краснодарском крае, с количеством 120 пчелиных семей серой горной кавказской породы. Проведены наблюдения за степенью инфестации пчелиных семей с периодичностью один раз в месяц с января по декабрь 2022–2024 гг. на опытной группе пчелиных семей (n = 10).

Использованы следующие способы изучения степени поражения пчелиных семей тропилелапсозом:

1. *Визуально на рамках.* Проводили осмотр всех рамок и фиксировали наличие клещей на рамках, рабочих пчелах, трутнях с января по декабрь 2022–2024 гг. один раз в месяц. Фиксировали количество особей на рамке: единично – 1–5 шт.; множественно – более 10 шт., массово – когда не представлялось возможным произвести точный подсчет ввиду того, что клещи быстро передвигаются по рамкам и прячутся в ячейках сотовой рамки.

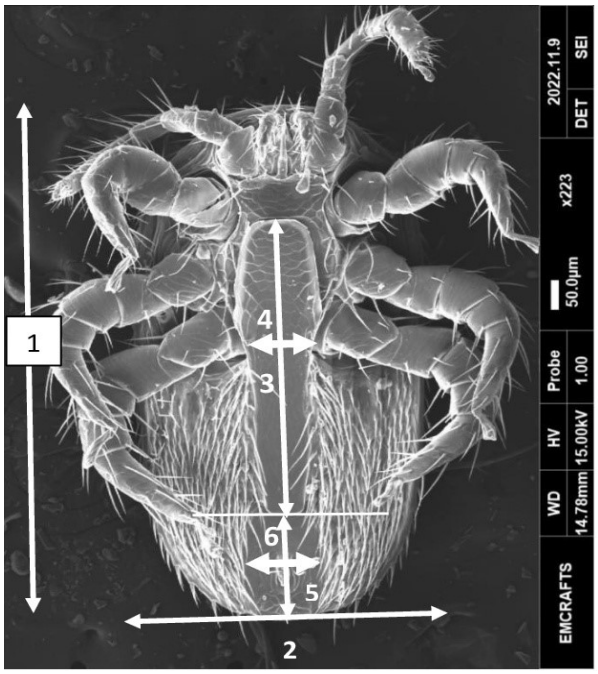
2. *Визуально на поддонах.* Проводили визуальную оценку естественной элиминации клещей на листы картона, расположенные внизу гнезда (на дне улья), листы размещали один раз в месяц на три дня с января по декабрь 2022–2023 гг. Подсчитывали количество осыпавшихся клещей.

3. *Метод смыва.* В емкость, предварительно взвешенную со спиртом (95%-й), помещали живых пчел не менее 100 штук. Отбор рабочих пчел проводили с рамок с расплодом и с крайних медовых рамок один раз в месяц (с января по декабрь 2022 года; в мае, июне, июле, августе, сентябре 2023 года). Данный метод использовали для обнаружения клещей тропилелапс на взрослых пчелах.

4. *Вскрытие печатного расплода*. Из сота с печатным расплодом (рабочих пчел) в стадии куколки (с темными глазами) вырезали участок размером 3х15 см, вмещающий примерно 100 ячеек, который охлаждали в бытовом холодильнике (t = +4…6 °C). Спустя 2-3 часа ячейки расплода вскрывали, проводили подсчет количества клещей всех стадий развития. Данный способ отработан в период изучения клеща, так как вскрытие неохлажденного расплода не позволяет провести учет всех клещей и нимф в одной ячейке ввиду их быстрого перемещения. Способ использовали для диагностики и изучения поражения расплода клещом. Исследования проводили один раз в месяц с января по декабрь 2022–2024 гг.

Морфологические признаки изучены у *Tropilaelaps* spp., собранных в 2023 году (с августа по октябрь): Краснодарском крае (n = 200); Республике Дагестан (n = 200); Республике Абхазия, район Гагры (n = 200); Грузии, область Сваннети (n = 200); Китайской Народной Республике, провинция Цзянси (n = 200). Все клещи фиксировались спиртом (95%-й). У клещей проводили измерение длины (1) и ширины (2) спинного щитка, длины (3) и ширины (4)

эпигинальной пластины, длины (5) и ширины (6) вентральной пластины на микроскопе МБС-10, оборудованном видеокамерой согласно методам, описанным OIE method[1]; Д. Л. Андерсон с соавт. (D. L Anderson et al.)[2]; М. С. Р. Харан с соавт. (M. S. R Haran et al.)[3] (рис. 1).



1 – Длина спинного щитка / Length of the dorsal shield;
2 – Ширина спинного щитка / Width of the dorsal shield;
3 – Длина эпигинальной пластины / Length of the epigynial plate;
4 – Ширина эпигинальной пластины / Width of the epigynial plate;
5 – Длина вентральной пластины / Length of the ventrianal plate;
6 – Ширина вентральной пластины / Width of the ventrianal plate.

Рис. 1. **Морфометрические измерения клеща *Tropilaelaps mercedesae* (фото А. З. Брандорф, А. С. Березина, 2022) /**
Fig. 1. **Morphometric measurements of the *Tropilaelaps mercedes* (photo by A. Z. Brandorf, A. S. Berezina, 2022).**

Полученные данные обработаны с использованием программы компьютерного обеспечения Excel 2016.

Результаты и их обсуждение. В декабре 2021 года в печатном расплоде медоносных пчел на пасеке в Краснодарском крае обнаружен новый клещ рода *Tropilaelaps* spp., который в 2023 году с использованием метода ПЦР был отнесен к *Tropilaelaps mercedesae.* Данные о его последовательностях занесены в GenBank: OR965215 [2].

В период наблюдения в семьях, пораженных тропилелапсозом, с мая по июль 2022 г. отмечено слабое развитие и неоднородный расплод. На сотах с расплодом в ячейках были мертвые пчелы с вытянутыми хоботками несмотря на то, что это был летний период и в природе присутствовало выделение нектара и пыльцы. На крышечках печатного расплода отмечены отверстия диаметром ~ 0,5–1,0 мм. При вскрытии ячеек запечатанного расплода обнаруживались серо-коричневые клещи, быстро выбегающие из ячеек. Отмечено, что у *Tropilaelaps* spp. высокой подвижностью характеризуются как взрослые особи, так и нимфы на всех стадиях развития.

В 2022 году в семьях-воспитательницах, используемых на пасеке для получения пчелиных маток, выявлен низкий процент приема личинок на воспитание, не более 10–15 %, при благоприятных условиях для получения неплодных пчелиных маток. Клещи заходят в мисочки с личинками и питаются на них, что является причиной отказа рабочих пчел от дальнейшего их кормления и воспитания.

Диагностику степени инфестации пчелиных семей тропилелапсозом проводили несколькими способами с целью выявления наиболее объективного (табл. 1).

[1]OIE method. Morfological identification of Tropilaelaps spp. (adult form). ANSES/SOP/ANA-l1.MOA.3500-Version 02. Sophia-Antipolis Laboratory, 2020. 23 p.
URL: https://sitesv2.anses.fr/en/system/files/Protocol_Instructions_Tropilaelaps_morphological_Id_4.pdf
[2]Anderson D. L., Roberts J. M. K. Standard methods for Tropilaelaps mites research. Journal of Apicultural Research. 2013:52(4):1–16. DOI: http://dx.doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.21
[3]Haran M. S. R., Srinivasan M. R., Balakrishnan N., Sabarinathan K. G., Kumaranag K. M. Morphometric Characterization of Tropilaelaps mercedesae Infesting Apis mellifera Colonies. In: International Conference on Global Perspectives in Crop Protection for Food Security (GPCP -2021) December 8-10, 2021 (Eds. N. Sathiah et.al.). Vol. II. TNAU Golden Jubilee International Conference, December, 8-10, 2021: pp. 245–246. URL: https://www.researchgate.net/publication/357900178_Morphometric_Characterization_of_Tropilaelaps_mercedesae_Infesting_Apis_mellifera_Colonies

Таблица 1 – **Определение степени инфестации тропилелапсозом пчелиных семей разными способами в 2022 году (n = 10) /**
Table 1 – **Determination of the degree of infestation of bee colonies by Tropilelapsosis by different methods 2022 (n = 10)**

Месяц / Month	*Визуально, шт. / Visually, pcs.*		*Смыв, % / Washing, %*		*Вскрытие расплода, % / Brood uncapping, %*
	на рамках / on the comb	*на поддонах / at the bottom*	*рамка расплода / brood comb*	*медовая рамка / honey comb*	
Январь / January	0	0	0	0	21,6±4,51
Февраль / February	0	0	0	0	12,3±5,63
Март / March	0	0	0	0	0
Апрель / April	0	0	0	0	0
Май / May	1-2	0,01±0,100	0	0	29,6±1,30
Июнь / June	До 10 / Up to 10	0,6±0,50	0	0	35,8±4,50
Июль / July	До 10 / Up to 10	0,7±0,15	4,0±0,51	0	37,0±5,01
Август / August	Массово / A lot	10,9±0,55	0	0	93,7±8,91
Сентябрь / September	Массово / A lot	5,8±0,41	0	2,9±2,65	97,0±1,12
Октябрь / October	До 10 / Up to 10	3,8±0,50	3,1±1,55	0	74,3±11,23
Ноябрь / November	До 10 / Up to 10	10,5±0,62	0	0	65,5±5,67
Декабрь / December	1-2	15,1±0,45	0	0	25,6±4,56

При диагностике поражения пчелиных семей тропилелапсозом наиболее эффективный способ – вскрытие печатного расплода. При визуальной оценке взрослые особи клещей видны, когда степень поражения расплода достигает 30 % и более, как правило, множество клещей на рамках обнаруживается при степени поражения расплода более 50 %. В связи с этим использовать только способ визуальной оценки без изучения печатного расплода недопустимо при подозрении поражения пчелиных семей тропилелапсозом.

При смыве пчел спиртом процент определения поражения невысокий, при этом не имело значение с каких рамок были отобраны пчелы. Процент поражения взрослых пчел данным способом был ниже значений при способе вскрытия расплода более чем в 10 раз, а в некоторых случаях, как например в сентябре, разница составила в среднем в 30 раз. Можно предположить, что при отборе пчел с сотовой рамки клещи собираются с рамки одновременно с пчелами, а не находятся на пчелах. В связи с этим наличие клещей тропилелапса в спирте не может являться подтверждением, что клещи были непосредственно на пчелах, как это происходит при вароозе.

Способ визуальной оценки на поддонах позволяет определить естественную элиминацию клещей в пчелиных семьях, с января по апрель 2022 года погибшие клещи отсутствовали на поддоне, в мае обнаружены единичные особи, в июне – августе обнаружено в среднем от 0,6±0,50 до 10,9±0,55 особи/сутки, с сентября по октябрь средняя гибель клещей изменялась с 4,5 до 12 особь/сутки, при максимальном количестве 31 особь/сутки. Степень поражения печатного расплода в пчелиных семьях в течение 2022 г. варьировала от 0,1 до 98,0 %.

Низкая степень инфестации печатного расплода отмечена с января по апрель 2023 г., с февраля по май 2024 г. (рис. 2). В эти периоды в печатном расплоде не обнаружено ни одного клеща *Tropilaelaps spp.*, выявлены только самки, нимфы и яйца *Varroa destructor*.

На пасеке, где проведены наблюдения, отсутствует репродуктивная диапауза у пчелиных маток, поэтому расплод в семьях присутствует круглый год в разном количестве.

В период с мая по июнь степень инфестации печатного расплода по годам (2023-2024 гг.) в среднем составила 28 %. С июня по сентябрь степень поражения расплода увеличилась в среднем до 69,3 % при максимальном поражении расплода 92 %. Отмечено изменение количества особей *Tropilaelaps* spp. в одной ячейке, в период с июля по октябрь поражение клещами в среднем составило 2,8±1,51 особи/ячейку, а в некоторых ячейках отмечалось до 14 разновозрастных особей. В декабре в оба учетных года (2023-2024 гг.) степень поражения расплода в среднем снизилась в 1,3–1,5 раза

по отношению к ноябрю, максимальную степень поражения в данный период регистрировали на уровне 42 %, а среднее количество разновозрастных особей в ячейках сота не превысило 1,8±0,53 особи/ячейку, максимальное количество клещей в ячейке составило 3 особи. Следует отметить, что в летний период на одну взрослую самку в ячейке расплода в 2023-2024 гг. насчитывалось около 3-4 нимф на разных стадиях развития. В январе на одну ячейку приходилась одна взрослая самка и одна нимфа, в данный период отмечено увеличение самок, с августа по декабрь средние размеры самок клещей достоверно увеличились: длина на 12 % (P≤0,05), ширина на 20 % (P≤0,05). По данным наблюдениям, можно предположить, что самки клещей изменили особенности развития, так как количество яиц, из которых выходили нимфы, сократилось и самки стали более крупные, учитывая, что в феврале 2023 г. и марте 2024 г. клещи исчезли из пчелиных семей.

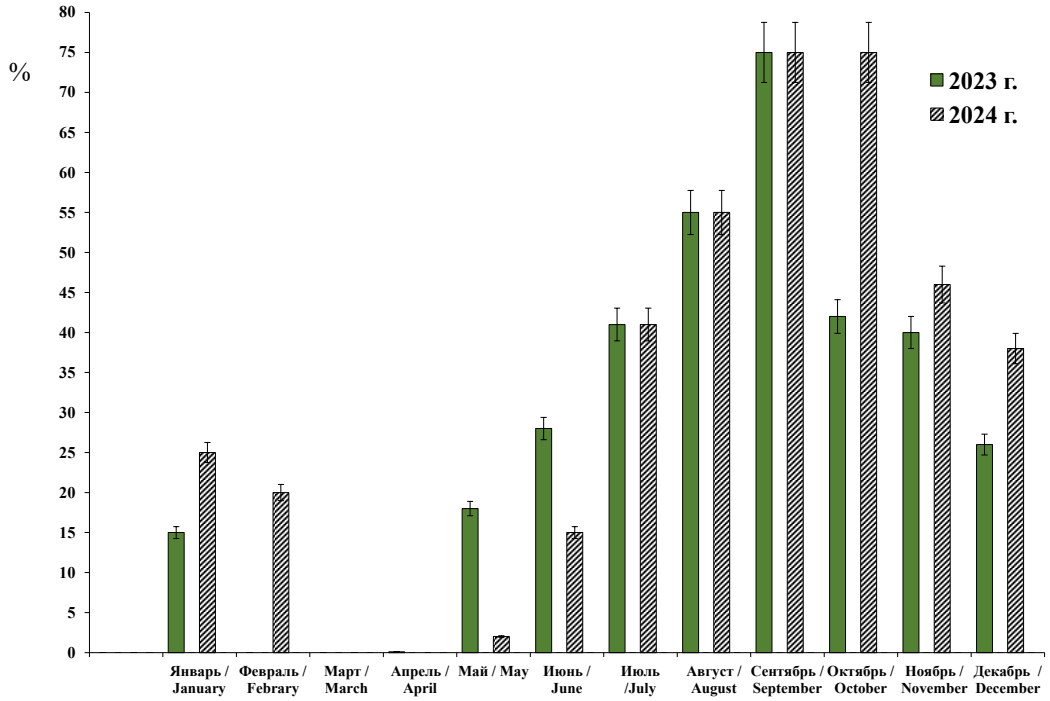


Рис. 2. **Степень инфестации печатного расплода в пчелиных семьях *Apis mellifera* L., % (2023-2024 гг., n = 10, Mean±SD) /**

Fig. 2. **Degree of infestation of the sealed brood in *Apis mellifera* L. bee colonies, % (2023-2024, n = 10, Mean±SD)**

Установлено, что в декабре, когда количество самок клеща в ячейке рабочих пчел уменьшилось, степень инфестации расплода также сократилась, а в феврале 2023 г. и марте 2024 г. в семьях, где инфестация в осенний период достигала 50–75 %, клещи полностью исчезли. В настоящее время отсутствуют данные, что происходит с клещом в пчелиной семье в этот период сезона, но в апреле – мае он вновь появляется в семьях. Г. Пигноль (1910), согласно работе О. Ф. Гробова с совт.[4], предположил, что яйца, отложенные самкой в холодное время года, могут длительное время находиться в диапаузе, а это требует дальнейших исследований [14]. Пчелиные семьи со степенью инфестации расплода в августе более 65 % погибали в период с сентября по ноябрь.

Изучение особенностей размеров клещей *Tropilaelaps* spp. имеет важное значение при определении видовой принадлежности, а также выявлении формирования новых популяций данного вида. С целью сравнения клещей из пчелиных семей Краснодарского края провели сравнительный анализ размеров спинного щитка (тела), эпигинальной и вентральной пластин у особей из Абхазии, Дагестана, Грузии, Китая, также для сравнения использовали размеры клещей из пчелиных семей *Apis mellifera* L. района Коимбатура Индии, по данным М. С. Р. Харан с соавт. (M. S. R. Haran et al., 2021) (табл. 2).

[4]Гробов О. Ф., Смирнов А. М., Попов Е. Т. Болезни и вредители медоносных пчел: справочник. М.: Агропромиздат, 1987. С. 156.

Таблица 2 – **Морфометрические показатели тела клещей *Tropilaelaps mercedesae* разных популяций, мм /**
Table 2 – **Morphometric body parameters of *Tropilaelaps mercedesae* of different populations, mm**

Место происхождения / Collecting area	*n*	*Спинной щиток / Dorsal shield*		*Эпигинальная пластина / Epigynial plate*		*Вентральная пластина / Ventrianal plate*	
		длина / length	*ширина / width*	*длина / length*	*ширина / width*	*длина / length*	*ширина / width*
Российская Федерация / Russian Federation							
Краснодарский край, РФ / Krasnodar Region, Russia	200	1,00±0,002	0,56±0,005	0,51±0,004	0,10±0,001	0,17±0,001	0,14±0,002
Республика Дагестан, РФ / Republic of Dagestan, Russia	200	0,99±0,021	0,57±0,041	0,53±0,068	0,11±0,016	0,19±0,002	0,13±0,002
Другие страны / Other countries							
Республика Абхазия / Republic of Abkhazia	200	1,00±0,004	0,49±0,021	0,54±0,094	0,09±0,009	0,18±0,002	0,14±0,002
Грузия / Georgia	200	0,98±0,006	0,49±0,032	0,57±0,041	0,13±0,030	0,19±0,021	0,13±0,001
Китай / China	200	0,98±0,001	0,53±0,062	0,54±0,094	0,09±0,008	0,18±0,021	0,12±0,001
По данным[5] / According to the data M.S.R. Haran et al.[5]							
Индия / India	-	0,96±0,022	0,52±0,028	0,57±0,022	0,08±0,009	0,19±0,015	0,14±0,008

Для сопоставления размеров тела рассчитаны значения соотношения длины к ширине спинного щитка клещей разных популяций. Максимальные значения соотношения отмечены у популяции из Грузии 2,01±0,013 мм, близкие значения к ним характерны для популяции из Республики Абхазия 1,99±0,084 мм, что возможно подтверждает одно происхождение клещей, так как территории граничат и возможность перезаражения медоносных пчел высокая. Популяция клещей из Краснодарского края РФ достоверно отличается по данному значению (1,79 ±0,015 мм) от клещей из Грузии на 10,9 % ($P \leq 0,001$) и Республики Абхазия – на 10,0 % ($P \leq 0,05$).

Популяции клещей из Краснодарского края РФ и Республики Дагестан имеют недостоверные отличия по всем измерениям, но отличаются от клещей Китая и Индии.

Выявленные отличия размеров спинного щитка, эпигинальной и вентральной пластин в популяциях, могут быть показателем формирования разных популяций *Tropilaelaps mercedesae,* что требует дальнейших исследований и наблюдений за биологическими особенностями в условиях Российской Федерации. Изучение биологических особенностей клеща *Tropilaelaps spp.* позволит своевременно принимать меры борьбы и профилактики с целью сохранения пчелиных семей, снижения риска заражения медоносных пчел в других регионах Российской Федерации.

Выводы. 1. В условиях Краснодарского края (Россия) установлена инфестация семей медоносных пчел *Tropilelaps mersedesae*. Высокая степень инфестации расплода более 35 % отмечена с июля по октябрь. В декабре степень инфестации расплода уменьшилась в 1,7–2,3 раза, также снизилось поражение расплода в одной ячейке в среднем с 2,5 до 0,8 особи/ячейку.

2. В условиях Краснодарского края (Россия) выделяется период с февраля по апрель (2022–2024 гг.), когда клещ *Tropilelaps mersedesae* отсутствует в пчелиных семьях, что требует дальнейшего изучения.

3. Способ вскрытия расплода – самый объективный для выявления инфестации тропилелапсозом пчелиных семей медоносных пчел при низкой степени инфестации. Степень поражения расплода может составлять около 30 %, на фоне отсутствия клещей на рамках и дне улья (в подморе). Способ смыва клещей с пчел с использованием спирта недостоверный и не позволяет своевременно выявить поражение пчелиных семей тропилелапсозом.

4. Клещи *Tropilelaps mersedesae*, поражающие пчелиные семьи *Apis mellifera* L. популяций Российской Федерации, отличаются разнообразием по морфометрическим показателям – длине (0,99-1,00 мм) и ширине (0,56-0,57 мм) спинного щитка, размерам эпигинальной и вентральной пластин, что требует дальнейшего изучения с целью выявления формирования отдельных популяций, адаптированных к определенным природно-климатическим условиям.

[5]Haran M. S. R., Srinivasan M. R., Balakrishnan N., Sabarinathan K. G., Kumaranag K. M. Указ. соч.

Reference

1. Gross S. Australia Locks Down Its Bees After Detecting Hive-Killing Mite. Nation is only major honey producer to have avoided the scourge of the deadly pest. Blomberg, 2022. Available at: https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-06-28/australia-locks-down-bees-after-detecting-deadly-varroa-mite (accessed: 14.04.2025).

2. Brandorf A., Ivoilova M. M., Yañez O., Neumann P., Soroker V. First report of established mite populations, *Tropilaelaps mercedesae*, in Europe. Journal of Apicultural Research. 2025;64(3):842–844. DOI: https://doi.org/10.1080/00218839.2024.2343976

3. Chantawannakul P., Ramsey S., Engelsdorp D., Khongphinitbunjong K., Phokasem P. *Tropilaelaps* mite: an emerging threat to European honey bee. Current Opinion in Insect Science. 2018;26:69–75. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.01.012

4. Delfinado-Baker M. D., Baker E. W. A new species of *Tropilaelaps* parasitic of honey bees. American bee Journal. 1982;122:416–417.

5. 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.

6. Delfinado M. D., Baker E. W. *Tropilaelaps,* a new genus of mite from the Philippines (Laelapidae, Acarina). Fieldiana Zoology. 1961;44(7):53–56. DOI: https://doi.org/10.5962/bhl.title.3028

7. Anderson D. L., Morgan M. J. Genetic and morphological variation of bee-parasitic *Tropilaelaps mites* (Acari: Laelapidae): new and re-defined species. Experimental and Applied Acarology. 2007;43:1–24. DOI: https://doi.org/10.1007/s10493-007-9103-0

8. Waghchoure-Camphor E. S., Martin S. J. Population changes of *Tropilaelaps clareae* mites in *Apis mellifera* colonies in Pakistan. Journal of Apicultural Research. 2009;48(1):46–49. DOI https://doi.org/10.3896/IBRA.1.48.1.10

9. Woyke J. *Tropilaelaps clareae* females can survive for four weeks when given open bee brood of *Apis mellifera*. Journal of Apicultural Research. 1994;33(1):21–25. DOI: https://doi.org/10.1080/00218839.1994.11100845

10. Woyke J. (1987) Length of stay of the parasitic mite *Tropilaelaps clareae* outside sealed honeybee brood cells as a basis for its effective control. Journal of Apicultural Research. 1987;26(2):104–109. DOI: https://doi.org/10.1080/00218839.1987.11100745

11. Mohamadzade Namin S., Joharchi O., Aryal S., Thapa R., Kwon S-H., Kakhramanov B. A., Jung C. Exploring genetic variation and phylogenetic patterns of *Tropilaelaps mercedesae* (Mesostigmata: Laelapidae) populations in Asia. Frontiers in Ecology and Evolution. 2024;12:1275995. DOI: https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1275995

12. Janashia I., Uzunov A., Chen Ch., Costa C., Cilia G. First Report on *Tropilaelaps* Mercedesae Presence in Georgia: The Mite is Heading Westward! Journal of Apicultural Science. 2024;68(2):183–188. DOI: https://doi.org/10.2478/JAS-2024-0010

13. Нуралиева У., Крупский О., Брандорф А., Модакхметова Г. Распространение тропилелапсоза медоносных пчел в Евразии. Пчела и человек 2025. Россия и дружественные страны: сб. абстрактов Международн. Конгресса, 28 февраля – 2 марта 2025 г. Под общ. ред. О. К. Чупахиной, И. А. Устюжанина, А. З. Брандорф. М.: изд-во «Старая Басманная», 2025. С. 49–50.

Nuralieva U., Krupskiy O., Brandorf A., Modakkhmetova G. The spread of Tropilelapsosis of honey bees in Eurasia. «Bee and Man 2025» Russia and friendly countries: Collection of abstracts of the International Congress, February 28 – March 2, 2025. *Pod obshch. red.* O. K. Chupakhinoy, I. A. Ustyuzhanina, A. Z. Brandorf. Moscow: *izd-vo «Staraya Basmannaya»*, 2025. pp. 49–50.

14. Гробов О. Ф., Иванов Ю. А., Попов Е. Т. Тропилелапсоз пчел. Пчеловодство. 1981;(10):18–19.

Grobov O. F., Ivanov Yu. A., Popov E. T. Tropilelapsosis of bees. *Pchelovodstvo*. 1981;(10):18–19. (In Russ.).

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, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0535-6578**, e-mail: Apis_mellifera_mellifera_L@mail.ru

Хинган Ли, профессор, Научно-исследовательский институт пчеловодства провинции Цзилинь, ул. Юаньлинь, 47, Бульвар Фэнмань, г. Цзилинь, Китайская Народная Республика, 132108, e-mail: asijl@sina.com, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2103-8521**

Циншенг Ниу, директор, Научно-исследовательский институт пчеловодства провинции Цзилинь, ул. Юаньлинь, 47, Бульвар Фэнмань, г. Цзилинь, Китайская Народная Республика, 132108, e-mail: asijl@sina.com, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9713-5176**

Information about the authors

✉ **Anna Z. Brandorf**, DSc in Agriculture, leading researcher, the Laboratory of Apiculture, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0535-6578**, e-mail: Apis_mellifera_mellifera_L@mail.ru

Li Xing'an, professor, Jilin Provincial Apiculture Scientific Research Institute, 47, Yuanlin Street, Fengman Boulevard, Jilin City, China, 132108, e-mail: asijl@sina.com, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2103-8521**

Niu Qingsheng, Director, Jilin Provincial Apiculture Scientific Research Institute, 47, Yuanlin Street, Fengman Boulevard, Jilin City, China, 132108, e-mail: asijl@sina.com, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9713-5176**

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗВЕРОВОДСТВО. ОХОТОВЕДЕНИЕ/ FUR FARMING AND HUNTING

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.671–679
УДК 636.93:636.082

(cc) BY

Сравнительная характеристика биохимических параметров у диких и разводимых на промышленных зверофермах лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758) с использованием методов PCA и корреляционного анализа

© 2025. Ю. А. Березина[1] ✉, О. Ю. Беспятых[1, 2], И. А. Домский[1], А. С. Сюткина[1], С. Ф. Стреляный[1]

[1]*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Российская Федерация,*
[2]*ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация*

Проведено комплексное исследование биохимического профиля диких и разводимых на промышленных зверофермах лисиц (Vulpes vulpes L., 1758) разных окрасов (серебристо-черных и красных «Огнёвка вятская») с применением методов главных компонент (PCA) и корреляционного анализа. Анализ выявил существенные метаболические различия между группами, связанные с эффектами доместикации и половым диморфизмом. Метод PCA показал, что у диких лисиц факторная структура биохимических параметров более распределена (82,1 % дисперсии объясняется тремя компонентами), тогда как у разводимых на промышленных зверофермах, особенно красных лисиц «Огнёвка вятская», наблюдается консолидация метаболических процессов (до 70,1 % дисперсии в первой компоненте). У диких особей выявлены специфические связи: положительные нагрузки AcAT с креатинином (rs = 0,823; p<0,01) у самок и сильная положительная корреляция AcAT с альбумином (rs = 0,985; p<0,01) у самцов, отражающие адаптивные механизмы в природных популяциях. Разводимые на промышленных зверофермах лисицы демонстрируют более упорядоченный метаболизм с сильными корреляциями между печеночными ферментами (АлАТ-АсАТ: rs = 0,975; p<0,01 у красных самок). Особенно показательно различие в азотистом обмене: у диких самок обнаружена уникальная отрицательная корреляция мочевины с креатинином (rs = -0,891; p<0,01), тогда как у разводимых на зверофермах особей эти параметры положительно связаны. Исследование подтверждает, что процесс доместикации приводит к реорганизации метаболических сетей, снижая их вариабельность и усиливая интеграцию ключевых физиологических параметров. Выявленные различия отражают адаптацию диких лисиц к изменчивым природным условиям и специализацию разводимых на промышленных зверофермах особей в стабильной среде содержания и кормления. Полученные данные важны для понимания физиологических последствий одомашнивания зверей и могут быть использованы при разработке критериев оценки статуса животных, разводимых на специализированных зверофермах.

Ключевые слова: *представители семейства Canidae, содержание в неволе, цветовые типы, биохимические показатели крови*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова» (тема FNWS-2022-0002).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Березина Ю. А., Беспятых О. Ю., Домский И. А., Сюткина А. С., Стреляный С. Ф. Сравнительная характеристика биохимических параметров у диких и разводимых на промышленных зверофермах лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758) с использованием методов PCA и корреляционного анализа. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):671–679. DOI: https://doi.orsg/10.30766/2072-9081.2025.26.3.671-679

Поступила: 23.04.2025 Принята к публикации: 17.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Comparative characteristics of biochemical parameters in wild and commercially bred foxes (*Vulpes vulpes* L., 1758) using PCA and correlation analysis methods

© 2025. Yuliya A. Berezina[1] ✉, Oleg Yu. Bespyatykh[1, 2], Igor A. Domskiy[1], Anna S. Syutkina[1], Sergey F. Strelyaniy[1]

[1]*Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russian Federation*

[2]*Vyatka State University, Kirov, Russian Federation*

A comprehensive study of the biochemical profile of wild and commercially bred foxes (Vulpes vulpes* L.*, 1758) of different colors (silver-black and red Ognevka Vyatskaya) was carried out using the methods of principal components (PCA) and correlation analysis. The analysis revealed significant metabolic differences between the groups related to the effects of domestication and sexual dimorphism. The PCA method showed that the factor structure of biochemical parameters in wild foxes is more distributed (82.1 % of the variance is explained by three components), whereas consolidation of metabolic processes is observed in bred on industrial fur farms, especially red Ognevka Vyatskaya foxes (up to 70.1 % of the variance in the first component). Specific associations were found in wild individuals: positive AsAT loads with creatinine (rs = 0.823; p<0.01) in females and a strong positive correlation of AsAT with albumin (rs = 0.985; p<0.01) in males, reflecting adaptive mechanisms in natural populations. Foxes bred on industrial fur farms demonstrate a more orderly metabolism with strong correlations between liver enzymes (ALT-AsAT: rs = 0.975; p<0.01 in red females). The difference in nitrogen metabolism is particularly significant: in wild females, a unique negative correlation of urea with creatinine (rs = -0.891; p<0.01) was found, whereas in animals bred on animal farms, these parameters are positively related. The study confirms that the process of domestication leads to the reorganization of metabolic networks, reducing their variability and enhancing the integration of key physiological parameters. The revealed differences reflect the adaptation of wild foxes to changing natural conditions and the specialization of individuals bred on industrial animal farms in a stable environment of maintenance and feeding. The data obtained are important for understanding the physiological consequences of animal domestication and can be used in developing criteria for assessing the status of animals bred on specialized animal farms.

Keywords: *representatives of the Canidae family, captive animals, colors types, biochemical parameters of blood*

Acknowledgements: the work was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming (topic FNWS-2022-0002).

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

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

For citation: Berezina Yu. A., Bespyatykh O. Yu., Domskiy I. A., Syutkina A. S., Strelyaniy S. F. Comparative characteristics of biochemical parameters in wild and commercially bred foxes (*Vulpes vulpes* L., 1758) using PCA and correlation analysis methods. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):671–679. (In Russ.). DOI: https://doi.orsg/10.30766/2072-9081.2025.26.3.671-679

Received: 21.04.2025 Accepted for publication: 17.06.2025 Published online: 30.06.2025

Изучение биохимических показателей крови животных представляет собой важный аспект в оценке физиологических процессов, здоровья и адаптационных механизмов различных видов. Работы в этой области помогают глубже понять, как внутренние процессы организма животного изменяются в зависимости от условий его жизни, рациона, климатических факторов и даже стадии развития [1, 2]. Одним из наиболее интересных объектов для такого анализа являются лисицы, которые занимают ключевую роль в экосистемах северных и умеренных широт. Эти животные, благодаря разнообразию экологических ниш и уникальным биологическим особенностям, представляют значительный интерес для сравнительных исследований [3, 4]. Особенно ценным является анализ биохимических показателей крови лисиц, позволяющий оценить влияние условий их обитания – дикой среды и содержания в неволе. Дикие лисицы обитают в условиях открытой природы, где их жизнь зависит от факторов окружающей среды, таких как доступность пищи, климатические условия, а также взаимодействие с другими видами [3]. Лисицы на специализированных промышленных звероферм живут в условиях ограниченного пространства клеточного содержания, стабильного источника пищи и минимизации воздействия инфекционных заболеваний.

Эти различия в условиях жизни предполагают возможные изменения в физиологическом состоянии организма, которые могут находить отражение в биохимических показателях крови.

Современные исследования в области природоохранной медицины и экологии всё активнее используют концепцию индикаторных видов для оценки состояния экосистем. А. А. Агирре (A. A. Aguirre, 2009) в своей статье

отмечает: «перспективы и научные открытия природоохранной медицины вносят вклад в биомедицинское образование, а также в политику и управление экосистемами, местами обитания и видами, находящимися под угрозой исчезновения». Согласно данной концепции, индикаторный вид – это тот, который позволяет оценить общее состояние экосистемы, учитывая такие факторы, как болезни, паразиты, токсины, изменение климата и разрушение среды обитания [3].

Лисицы, как представители семейства *Canidae*, занимают широкий спектр экологических ниш и демонстрируют высокую чувствительность к изменениям окружающей среды.

Именно благодаря этим особенностям лисица становится отличным индикатором для изучения состояния экосистем. Анализ биохимических показателей крови лисиц позволяет не только выявить специфические адаптационные механизмы, но и служит важным инструментом для мониторинга влияния антропогенных и природных стрессоров на состояние природных сообществ.

Исследование биохимического состава крови является важным инструментом для оценки физиологического состояния животных, отражая функциональное состояние печени, почек, обмен белков и других метаболических процессов [5, 6, 7, 8].

Исследования В. А. Берестова, Л. К. Кожевниковой [9] и Д. М. Бенна с соавт. (D. M. Benn et al.) [10] предоставили первые значения гематологических и биохимических показателей для лисиц, содержащихся на специализированных звероферм.

Последующие исследования [11, 12] расширили представление о вариативности показателей крови у различных популяций лисиц, выявляя существенные различия между дикими и клеточными особями. В то же время исследования Х. Иноуэ с соавт. (H. Inoue et al.) [13] и Х. Лескано с соавт. (J. Lescano et al.) [14] подчеркивают важность установления референтных интервалов для гематологических и биохимических показателей, особенно для видов, находящихся под угрозой исчезновения, таких как островная лисица.

Особое внимание необходимо уделять мониторингу состояния исчезающих видов, так как их ограниченная популяция и уязвимость к заболеваниям могут иметь катастрофические последствия для биоразнообразия. В работе Д. Радд с соавт. (J. Rudd et al.) [15] продемонстрировано, как саркоптоз (чесотка) существенно влияет на физиологическое состояние калифорнийских лисиц (*Vulpes macrotis mutica*) – редкого подвида, находящегося под угрозой исчезновения. Исследование показало важность биохимического мониторинга при реабилитации инфицированных животных. В работе А. Талукдар с соавт. (A. Talukdar et al.) представлены гематологические и биохимические показатели крови рыжей лисицы из Ладакха, что свидетельствует о региональных различиях в физиологических характеристиках животных, обитающих в экстремальных климатических условиях [16].

Современные исследования также акцентируют внимание на влиянии патогенных микроорганизмов и эндопаразитов на биохимический профиль лисиц, что дополнительно подчеркивает необходимость комплексного анализа крови [17, 18]. В руководстве В. А. Берестова излагаются стандартизированные методы лабораторного анализа гематологических и биохимических показателей крови пушных зверей (включая лисиц, норок и нутрий), описываются требования к забору проб, приготовлению реактивов и калибровке оборудования, а также даются рекомендации по клинической интерпретации выявленных отклонений, что особенно важно при сравнительном анализе диких и клеточных популяций[1].

К. Маркс (C. Marks) в своем исследовании продемонстрировал, что методы захвата и отстрела существенно влияют на гематологические и биохимические показатели крови рыжей лисицы (*Vulpes vulpes*). Автор показал, что стресс, возникающий в результате различных процедур, приводит к значительным изменениям в уровнях ферментов, белков и азотистых соединений, что может исказить интерпретацию физиологических данных. Эти выводы подчеркивают необходимость строгой стандартизации методик сбора образцов крови при проведении сравнительного анализа диких и клеточных популяций [19].

Цель исследования – сравнительный анализ биохимических показателей крови диких и содержащихся на специализированной звероферме лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758), что позволит выявить особенности метаболической адаптации, связанные с условиями обитания и содержанием в неволе.

[1]Берестов В. А. Клиническая биохимия пушных зверей: справочное пособие. Петрозаводск: Карелия, 2005, 159 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_002806073/

Научная новизна – результаты исследования могут быть использованы для разработки новых методов оценки здоровья лисиц как в дикой природе, так и в условиях разведения в неволе. Проведённый сравнительный анализ биохимических показателей крови различных популяций открывает перспективы для дальнейших исследований в области физиологии и экологии, а также углубляет понимание адаптационных механизмов к разным условиям среды. Полученные данные могут стать основой для создания референтных интервалов и систем мониторинга физиологического состояния, что позволит точнее оценивать влияние внешних факторов на метаболизм у данного вида.

Материал и методы. Пробы биоматериала (кровь) от диких лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758) отбирали в научно-опытном охотничьем хозяйстве ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова» (ФГБНУ ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова, Кировская область), которое располагается в северной части ареала – на северо-востоке Европейской части России. Кровь от диких лисиц в количестве 20 проб (10 самок и 10 самцов) получена в сроки, разрешенные для охоты на них (декабрь – январь). Все животные были взрослыми (в возрасте 9-10 месяцев) и при внешнем осмотре клинически здоровы.

Отбор проб крови у лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758), содержащихся на промышленной звероферме, проводили в ООО «Зверохозяйство «Вятка» (Кировская обл.), также расположенное на северо-востоке Европейской части России.

В зверохозяйстве разводят два основных цветовых типа лисиц: серебристо-черный и красный «Огнёвка вятская», которые заметно различаются между собой по экстерьерным, интерьерным, этологическим и другим биологическим характеристикам.

Зверей на звероферме содержали в стандартных условиях, кормили один раз в сутки в соответствии с рекомендациями[2], поение осуществляли *ed libitum* из индивидуальных поилок.

Из клинически здоровых лисиц серебристо-черного и красного окрасов сформировали 2 группы по 30 самок и 30 самцов в каждой. У зверей в возрасте 8 месяцев утром натощак отбирали кровь из латеральной подкожной вены голени.

Работа выполнена с соблюдением международных принципов Хельсинской декларации о гуманном отношении к животным (2013), принципов гуманности, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2010/63/ЕС «О защите животных, использующихся для научных целей»[3].

Из крови получали сыворотку путем центрифугирования в течение 20 минут при 1500 об/мин. Исследования выполнены в лаборатории ветеринарии ФГБНУ ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова на полуавтоматическом анализаторе Biochem SA (США) с помощью наборов реагентов фирмы «Экосервис» (Россия). Функциональное состояние печени оценивали по уровню активности следующих ферментов: аланинаминотрансферазы (АлАТ), аспартатаминотрансферазы (АсАТ), щелочной фосфатазы (ЩФ), а также по концентрации общего белка и его альбуминовой фракции. Функцию почек контролировали по концентрации креатинина и мочевины.

Все данные были обработаны с использованием программного обеспечения MS Excel 2019 (Microsoft, США) и IBM SPSS Statistics 26 (IBM, США). Первичная обработка данных включала проверку на нормальность распределения с помощью критерия Шапиро-Уилка. Для выявления скрытых закономерностей и снижения размерности данных применили метод главных компонент (PCA). Перед проведением PCA выполнена проверка адекватности выборки с использованием критерия Кайзера-Мейера-Олкина (KMO>0,6) и теста сферичности Бартлетта ($p<0,05$). Компоненты с собственными значениями >1 были сохранены для дальнейшего анализа с применением вращения Варимакс.

Для оценки взаимосвязей между количественными показателями использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (rs), поскольку большинство переменных не соответствовали условиям нормального распределения. Силу корреляционных связей интерпретировали согласно общепринятым критериям: $|rs|<0,3$ – слабая; $0,3\leq|rs|<0,7$ – умеренная; $|rs|\geq0,7$ – сильная.

[2]Перельдик Н. Ш., Милованов Л. В., Ерин А. Т. Кормление пушных зверей. М.: Колос, 1981. 392 с.
[3]Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 г. «О защите животных, использующихся для научных целей». [Электронный ресурс]. URL: https://base.garant.ru/70350564/ (дата обращения: 21.03.2025).

Результаты и их обсуждение. В результате проведённого анализа показателей крови у самцов и самок диких красных лисиц и лисиц, содержащихся на звероферме, с использованием метода PCA были выявлены значительные различия в структуре метаболических факторов, отражающие как половую дифференциацию физиологических процессов, так и степень влияния одомашнивания на метаболическую организацию животных.

У самок диких лисиц выявлены три значимых компонента, объясняющих 82,1 % совокупной дисперсии биохимических параметров (табл. 1). При этом на долю первой компоненты приходится 39,1 %, второй – 28,6 %, третьей – 14,4 %. В ведущий фактор (1) входят положительные нагрузки по АсАТ (0,88), креатинину (0,97), АлАТ (0,56), отрицательные – по мочевине (-0,92), что указывает на сбалансированное участие ферментативных и азотистых метаболитов.

У самок серебристо-черных лисиц, в отличие от диких, совокупная объяснённая дисперсия составляет 100 %, с преобладанием первой компоненты (56,1 %) и значительными вкладами второй (29,7 %) и третьей (14,3 %). Это свидетельствует о более упорядоченной метаболической структуре. Наиболее выраженные положительные нагрузки приходятся на АлАТ (0,95), АсАТ (0,90), креатинин (0,83), мочевину (0,72), а отрицательные – на общий белок (-0,98), щелочную фосфатазу (-0,91). Самки красных лисиц демонстрируют ещё большую концентрацию физиологических процессов: первая компонента объясняет 70,1 % дисперсии; вторая – 22,9 %; суммарно – 93,1 %. Ведущий фактор включает высокие положительные нагрузки по АсАТ (0,99), АлАТ (0,97), альбумину (0,97), общему белку (0,92), креатинину (0,96), мочевина демонстрирует отрицательную связь (-0,93) со вторым компонентом.

У самцов диких лисиц факторная структура биохимических показателей также представлена тремя значимыми компонентами, объясняющими 100% дисперсии (табл. 2). Первая компонента составляет 54,9 %, вторая – 26,6 %, третья – 18,4 %. Ведущий фактор характеризуется высокими положительными нагрузками по АсАТ (0,98), щелочной фосфатазе (0,93), общему белку (0,91), креатинину (0,74), альбумину (0,98), отрицательными – по мочевине (-0,25). У самцов серебристо-черных лисиц аналогично объяснено 100 % дисперсии (56,1 %, 29,8 и 14,3 % соответственно). При этом ведущий фактор включает АлАТ (0,96), АсАТ (0,87), креатинин (0,83), мочевину (0,72), отрицательные нагрузки приходятся на общий белок (-0,98), щелочную фосфатазу (-0,91). У самцов красных лисиц наблюдается усиленная концентрация дисперсии в первом компоненте – 69,9 %, во втором – 26,3 %, третий компонент практически незначим (3,6 %). Ведущий фактор объединяет АлАТ (0,97), АсАТ (0,99), прямой билирубин (0,99), общий билирубин (0,95), альбумин (0,90), с отрицательными нагрузками – по щелочной фосфатазе (-0,94) и мочевине (-0,84).

Таким образом, установлено, что у диких красных лисиц (самцы и самки) наблюдается более распределённая и пластичная физиологическая структура, отражающая адаптацию к природной среде с выраженной вариабельностью метаболических процессов. У лисиц (в т. ч. и красных «Огнёвка вятская»), содержащихся на промышленных зверофермах, метаболизм организован более компактно и согласованно вследствие работы селекционера на уменьшение изменчивости по качеству опушения и окрасу волосяного покрова.

Это подтверждается значительным преобладанием первого компонента и высоким процентом объяснённой дисперсии, особенно у красных лисиц обоего пола. Половые различия проявляются в том, что у самцов всех групп отмечены высокие нагрузки по ферментативным и белковым показателям, а у самок – выраженная связь с азотистыми метаболитами и билирубином, что отражает различия в интенсивности обменных процессов.

Сравнительный анализ биохимических корреляций у лисиц, содержащихся на зверофермах и диких особей.

Результаты проведенного исследования выявили существенные различия в характере взаимосвязей биохимических параметров у диких лисиц и лисиц различных цветовых типов, содержащихся на зверофермах. Анализ корреляционных матриц позволил идентифицировать особые закономерности метаболических взаимодействий, отражающих адаптационные стратегии изучаемых групп.

У диких самок обнаружена слабая взаимосвязь АлАТ с другими биохимическими параметрами, за исключением достоверной отрицательной корреляции с мочевиной (rs = -0,523; $p<0,05$). Примечательно, что АсАТ продемонстрировал сильную положительную корреляцию исключительно с креатинином (rs = 0,823; $p<0,01$), что может свидетельствовать о тесной функциональной связи печеночной и почечной систем у данной группы.

Таблица 1 – **Нагрузки компонент на биохимические показатели крови у различных групп самок лисиц** /
Table 1 – **Component loads on blood biochemical parameters in different groups of female foxes**

Показатель / Indicator	*Дикие лисицы (n = 10) / Wild foxes (n = 10)*			*Серебристо-черные лисицы (n = 30) / Silver-black foxes (n = 30)*			*Красные лисицы «Огнёвка вятская» (n = 30) / Red Foxes «Ognevka Vyatskaya» (n =30)*	
	компонент 1 / component 1	*компонент 2 / component 2*	*компонент 3 / component 3*	*компонент 1 / component 1*	*компонент 2 / component 2*	*компонент 3 / component 3*	*компонент 1 / component 1*	*компонент 2 / component 2*
АлАТ / AlAT	0,56	0,35	0,48	0,95	0,96	0,95	0,96	0,19
АсАТ / AsAT	0,88	0,32	0,03	0,90	0,87	0,78	0,99	-0,03
Щелочная фосфатаза / Alkaline phosphatase	0,42	-0,88	0,16	-0,91	-0,23	0,29	0,67	0,70
Общий белок / Total protein	0,04	0,95	-0,15	-0,98	0,36	0,05	0,92	-0,32
Альбумин / Albumin	0,44	0,66	-0,22	0,76	-0,22	-0,34	0,97	-0,21
Мочевина / Urea	-0,92	0,27	-0,24	0,72	0,65	-0,38	0,32	-0,93
Креатинин / Creatinine	0,97	-0,02	0,03	0,83	0,68	-0,02	0,96	0,12
Общий билирубин / Total bilirubin	-0,30	0,37	0,64	-0,25	-0,21	0,46	0,78	0,52
Прямой билирубин / Direct bilirubin	-0,46	0,12	0,70	0,04	-0,06	-0,32	-0,71	0,50

Таблица 2 – **Нагрузки компонент на биохимические показатели крови у различных групп самцов лисиц** /
Table 2 – **Component loads on blood biochemical parameters in different groups of male foxes**

Показатель / Indicator	*Дикие лисицы (n = 10) / Wild foxes (n = 10)*			*Серебристо-черные лисицы (n = 30) / Silver-black foxes (n = 30)*			*Красные лисицы «Огнёвка вятская» (n=30)/ Red Foxes «Ognevka Vyatskaya» (n=30)*	
	компонент 1 / component 1	*компонент 2 / component 2*	*компонент 3 / component 3*	*компонент 1 / component 1*	*компонент 2 / component 2*	*компонент 3 / component 3*	*компонент 1 / component 1*	*компонент 2 / component 2*
АлАТ / AlAT	0,82	-0,53	-0,21	0,96	0,97	0,86	0,97	0,07
АсАТ / AsAT	0,98	0,14	0,06	0,87	0,90	0,88	0,99	0,12
Щелочная фосфатаза / Alkaline phosphatase	0,93	0,34	0,14	-0,90	0,35	-0,117	-0,94	0,31
Общий белок / Total protein	0,91	-0,39	-0,15	-0,98	0,41	0,357	0,86	0,35
Альбумин / Albumin	0,98	0,14	0,06	0,76	0,69	0,228	0,90	0,42
Мочевина / Urea	-0,25	0,90	0,35	0,72	0,46	-0,331	-0,84	0,45
Креатинин / Creatinine	0,74	0,62	0,25	0,83	0,59	0,021	0,34	-0,93
Общий билирубин / Total bilirubin	-0,09	-0,22	0,97	-0,25	0,46	-0,326	0,95	-0,26
Прямой билирубин / Direct bilirubin	0,08	-0,74	0,66	0,04	-0,23	0,385	0,99	0,12

Уникальной особенностью диких самок явилась выраженная отрицательная корреляция щелочной фосфатазы с общим белком (rs = -0,877; p<0,01), не наблюдаемая у особей, содержащихся на звероферме.

В отличие от диких сородичей, серебристо-черные самки характеризовались сильной положительной взаимосвязью АлАТ и щелочной фосфатазы (rs = 0,973; p<0,01), что типично для интенсивного печеночного метаболизма. Оба фермента демонстрировали отрицательные корреляции с билирубином. У красных самок зафиксирована исключительно высокая корреляция между АлАТ и АсАТ (rs = 0,975; p<0,01), указывающая на усиление белкового и аминокислотного обмена, характерного для периода активного роста или подготовки к размножению, что отражает интенсивные адаптивные процессы, обеспечивающие повышенные энергетические и пластические потребности организма.

У диких самцов выявлена сильная положительная корреляция АсАТ с альбумином (rs = 0,985; p<0,01), что может объясняться андроген-опосредованной стимуляцией белкового синтеза. Щелочная фосфатаза показала сильные связи как с АсАТ (rs = 0,976; p<0,01), так и с креатинином (rs = 0,937; p<0,01), отражая комплексное участие в печеночно-почечных взаимодействиях. У серебристо-черных самцов обнаружена практически полная отрицательная корреляция между АлАТ и общим белком (rs = -0,980; p<0,01), характерная для состояний с подавлением белкового синтеза на фоне катаболических процессов.

Анализ белкового обмена выявил существенные межгрупповые различия. У диких самок общий белок демонстрировал только отрицательную связь с щелочной фосфатазой, тогда как у серебристо-черных наблюдались отрицательные корреляции как с АлАТ, так и с щелочной фосфатазой. Самки красной лисицы отличались практически идентичной динамикой альбумина и общего белка (rs = 0,973; p<0,01), отражающей стабильность белкового обмена.

У самцов диких лисиц выявлена сильная положительная корреляция АсАТ с альбумином (rs = 0,985; p<0,01). Серебристо-черные самцы характеризовались резкой отрицательной взаимосвязью общего белка с АлАТ, типичной для стресс-индуцированных метаболических сдвигов. В группе самцов красных лисиц альбумин коррелировал как с АлАТ (rs = 0,926; p<0,01), так и с билирубином (rs = 0,940; p<0,01), что может отражать адаптацию к повышенным метаболическим нагрузкам.

Наиболее выраженные межгрупповые различия обнаружены в характере взаимосвязей показателей азотистого обмена. У самок диких лисиц зарегистрирована необычная отрицательная корреляция мочевины как с АсАТ (rs = -0,764; p<0,01), так и с креатинином (rs = -0,891; p<0,01), что может указывать на альтернативные пути выведения азотистых соединений. В отличие от этого, у серебристо-черных самок креатинин положительно коррелировал с АсАТ (rs = 0,897; p<0,01) и альбумином (rs = 0,751; p<0,01). Высокая корреляция отражает синхронизацию метаболических процессов в печени и мышцах, общие регуляторные механизмы (например, гормональный контроль), а также демонстрирует тесную функциональную интеграцию органов и подчеркивает единство метаболических путей.

У самцов диких лисиц креатинин показал значимые связи с АсАТ и щелочной фосфатазой, но не с мочевиной, тогда как у лисиц, разводимых в неволе, преобладали корреляции креатинина с АсАТ (положительные) и мочевиной (отрицательные). Эти различия могут отражать различную стратегию регуляции азотистого обмена у диких красных лисиц и лисиц, содержащихся на звероферме.

Анализ гепатобилиарного транспорта и экскреции билирубина выявил минимальные корреляции у диких особей: у самок отсутствовали связи билирубина с другими параметрами; у самцов отмечена взаимосвязь только между общим и прямым билирубином (rs = 0,797; p<0,01). У лисиц, содержащихся на ферме, билирубин демонстрировал сложные взаимосвязи с печеночными ферментами: отрицательные – у серебристо-черных; разнонаправленные – у красных особей.

Выводы. 1. Установлены существенные различия в биохимических параметрах между дикими лисицами и лисицами, разводимыми на промышленных зверофермах, обусловленные половым диморфизмом и эффектами одомашнивания.

2. У лисиц, разводимых в неволе (особенно красного окраса «Огнёвка вятская»), выявлена более консолидированная факторная структура метаболического профиля: доминирование первой главной компоненты (70,1 % дисперсии); высокая суммарная объяснённая дисперсия (до 100 %); упрощение и унификация

метаболических процессов как результат искусственного отбора.

3. Для диких лисиц характерна более распределённая и пластичная организация метаболизма, 82,1 % дисперсии объясняется тремя компонентами, выраженная адаптивная вариабельность в естественной среде.

4. Обнаружены значительные половые различия: у самцов выражены ассоциации с ферментативными (АсАТ, АлАТ) и белковыми показателями (общий белок, альбумин), у самок преобладают взаимосвязи с азотистыми метаболитами (мочевина, креатинин) и билирубином.

References

1. Срослова Г. А., Постнова М. В., Зимина Ю. А. Особенности адаптации живых организмов. Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. 2017;7(4):32–38. DOI: https://doi.org/10.15688/jvolsu11.2017.4.5 EDN: XPSPTN

Sroslova G. A., Postnova M. V., Zimina Yu. A. Features of adaptation of living organisms. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11: Estestvennye nauki*. 2017;7(4):32–38. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15688/jvolsu11.2017.4.5

2. Kokore B. A., Bleyere H. M., Kamagate S., Yapo P. A. Blood biochemical parameters exploration in broilers and local chickens in Korhogo, Côte d'Ivoire. American Journal of Food and Nutrition, 2021;9(2):82–86. DOI: https://doi.org/10.12691/ajfn-9-2-4

3. Aguirre A. A. Wild canids as sentinels of ecological health: a conservation medicine perspective. Parasites & Vectors. 2009;2(Suppl 1):S7. DOI: https://doi.orsg/10.1186/1756-3305-2-S1-S7

4. Akbaba B., Kucukyildirim S., Ünal H. Comparison of the red fox gut microbiota among different habitat types in southern Anatolia. Mammal Research. 2025;70:175–182. DOI: https://doi.org/10.1007/s13364-025-00783-4

5. Kuznetsov Y. E., Lunegov A. M., Ponamarev V. S., Romashova E. B. Indicators of biochemical blood parameters of minks (Mustela vison) with shed keeping in the Tver region climate. Journal of Agriculture and Environment. 2022;7(27):1–4. DOI: https://doi.org/10.23649/jae.2022.27.7.002

6. Radkowska I., Herbut E. Hematological and biochemical blood parameters in dairy cows depending on the management system. Animal Science Papers and Reports. 2014;32(4):317–325. URL: https://www.igbzpan.pl/uploaded/FSiBundleContentBlockBundleEntityTranslatableBlockTranslatableFilesElement/filePath/327/str317-326.pdf

7. Березина Ю. А., Беспятых О. Ю. Сюткина А. С., Плотников И. А., Окулова И. И., Перевозчикова М. А., Домский И. А. Биохимические показатели крови помесных лисиц цветового типа красная снежная в зависимости от возраста. Кролиководство и звероводство. 2024;(2):41–48. DOI https://doi.org/10.52178/00234885_2024_2_41 EDN: VVNZPO

Berezina Yu. A., Bespyatykh O. Yu. Syutkina A. S., Plotnikov I. A., Okulova I. I., Perevozchikova M. A., Domskiy I. A. Age-related biochemical blood indices of crossbred foxes of red snow color type. *Krolikovodstvo i zverovodstvo*. 2024;(2):41–48. (In Russ.). DOI https://doi.org/10.52178/00234885_2024_2_41

8. Березина Ю. А., Кокорина А. Е., Плотников И. А., Окулова И. И., Бельтюкова З. Н., Кошурникова М. А., Беспятых О. Ю. Сезонные особенности гематологических показателей крови у взрослого вуалевого песца в условиях Волго-Вятского региона. Дальневосточный аграрный вестник. 2019;(1):32–37. DOI: https://doi.org/10.22450/1999-6837-2019-1-32-37 EDN: ZDPODB

Berezina Yu. A., Kokorina A. E., Plotnikov I. A., Okulova I. I., Bel'tyukova Z. N., Koshurnikova M. A., Bespyatykh O. Yu. Seasonal characteristics of hematological parameters of blood in grown-up blue fox in the climate of Volgo-Vyatskiy region. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2019;(1):32–37. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.22450/1999-6837-2019-1-32-37

9. Берестов В. А., Кожевникова Л. К. Ферменты крови пушных зверей. Л.: Наука: Ленингр. отд-ние, 1981. 184 с. Режим доступа: https://search.rsl.ru/ru/record/01001050524

Berestov V. A., Kozhevnikova L. K. Blood enzymes of fur animals. Leningrad: *Nauka: Leningr. otd-nie*, 1981. 184 p. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001050524

10. Benn D. M., McKeown D. B., Lumsden J. H. Hematology and biochemistry reference values for the ranch fox. Canadian Journal of Veterinary Research. 1986;50(1):54–58. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1255159/

11. Crooks K. R. S., Scott C. A., Bowen L., van Vuren D. Hematology and serum chemistry of the island fox on Santa Cruz Island. Journal of Wildlife Diseases. 2000;36(2):397–404. DOI: https://doi.org/10.7589/0090-3558-36.2.397

12. Gelli D., Gerardi G., Lai O., Stefani A., Contiero B., Segato S. Hematologic and biochemistry reference intervals for rescued red foxes (*Vulpes vulpes*). Journal of Zoo and Wildlife Medicine. 2023;54(2):374–378. DOI: https://doi.org/10.1638/2022-0131

13. Inoue H., Clifford D. L., Vickers T. W., Coonan T. J., Garcelon D. K., Borsjesson D. L. Biochemical and hematological reference intervals for the endangered island fox (*Urocyon littoralis*). Journal of Wildlife Diseases. 2012;48(3):583–592. DOI: https://doi.org/10.7589/0090-3558-48.3.583

14. Lescano J., Quevedo M., Villalobos M., Gavidia C. Hematology and serum biochemistry of free-ranging and captive Sechuran foxes (*Lycalopex sechurae*). Veterinary Clinical Pathology. 2018;47(1):29–37. DOI: https://doi.org/10.1111/vcp.12568

15. Rudd J., Clifford D., Richardson D., Cyphers B., Westall T., Kelly E. et al. Hematologic and serum chemistry values of endangered San Joaquin kit foxes (*Vulpes macrotis mutica*) with sarcoptic mange. Journal of Wildlife Diseases. 2019;55(2):410–415. DOI: https://doi.org/10.7589/2017-10-270

16. Talukdar A., Ghosal S., Raina P. Hematological and blood chemistry values in red fox (*Vulpes vulpes*) from Ladakh, India. Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika. 2021;36(2):156–157. DOI: https://doi.org/10.18805/BKAP319

17. Di Cataldo S., Hidalgo-Hermoso E., Sacristán I., Cevidanes A., Napolitano C., Hernández C. V. et al. Hemoplasmas are endemic and cause asymptomatic infection in the endangered Darwin's fox (*Lycalopex fulvipes*). Appl Environ Microbiol. 2020;86(12):1–16. DOI: https://doi.org/10.1128/AEM.00779-20

18. Mohamed A. E. A., Mohamed M. M., Fawaz M. M., Fereig R. M. Diversity of external and gastrointestinal parasites and the associated clinical, hematological, and biochemical findings in red fox (*Vulpes vulpes*) of Egyptian Wilderness. German Journal of Veterinary Research. 2024;4(3):110–125. DOI: https://doi.org/10.51585/gjvrs.2024.3.0103

19. Marks C. Hematological and biochemical responses of red foxes (Vulpes vulpes) to different capture methods and shooting. Animal Welfare. 2010;19(3):223–234. DOI: https://doi.org/10.1017/S0962728600001603

Сведения об авторах

✉ **Березина Юлия Анатольевна**, кандидат вет. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5082-716X**, e-mail: uliya180775@bk.ru

Беспятых Олег Юрьевич, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru, заведующий кафедрой физической культуры ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ул. Московская, д.36, г. Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4539-7385**

Домский Игорь Александрович, член-корреспондент РАН, доктор вет. наук, директор, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1633-1341**

Сюткина Анна Сергеевна, кандидат вет. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3234-8602**

Стреляный Сергей Филиппович, заведующий научно-опытного хозяйства, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru

Information about the authors

✉ **Yulya A. Berezina**, PhD in Veterinary Science, senior researcher, Professor Zhitkov Federal Siate Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, 79, Preobrazhenskaya Street, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5082-716X**, e-mail: uliya180775@bk.ru

Oleg Yu. Bespyatykh, DSc in Biological Science, leading researcher, Professor Zhitkov Federal Siate Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, 79, Preobrazhenskaya Street, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru, Head of the Department of Physical Education, Vyatka State University, Moskovskaya str., 36, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4539-7385**

Igor A. Domskiy, DSc in Veterinary Science, corresponding member of RAS, director, Professor Zhitkov Federal Siate Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, 79, Preobrazhenskaya Street, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1633-1341**

Anna S. Syutkina, PhD in Veterinary Science, senior researcher, Professor Zhitkov Federal Siate Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, 79, Preobrazhenskaya Street, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3234-8602**

Sergey F. Strelyaniy, Head of the Scientific and Experimental farm, Professor Zhitkov Federal Siate Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, 79, Preobrazhenskaya Street, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.680–690
УДК 631.95

Интеллектуализированная оценка систем сбора и хранения навоза на молочной ферме по выбросу парниковых газов

© 2025. Э. В. Васильев, Д. А. Максимов, Э. А. Папушин✉, Е. В. Шалавина, С. Н. Матейчик

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В выбросах парниковых газов животноводство играет существенную роль. Наибольшее их количество поступает от жвачных животных, в том числе от систем сбора и хранения навоза. В процессе модернизации существующих и строительства новых ферм, современных животноводческих помещений увеличивается их доля с беспривязной системой содержания животных, для которой характерен переход от получения твёрдого навоза к жидкому. Цель работы – провести оценку образования парниковых газов от различных современных систем сбора и хранения навоза на молочных фермах крупного рогатого скота. Исследование выполнили на основе данных одного из сельскохозяйственных предприятий Северо-Западного федерального округа (СЗФО) в соответствии с Руководящими принципами Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и разработанной национальной методикой по инвентаризации выбросов парниковых газов. Рассмотрены три широко используемые технологии по обращению с навозом. Полученные результаты показали, что переход к системам обращения с жидким навозом способствует росту выбросов парниковых газов за счёт увеличения образования метана. На рассматриваемом предприятии его выброс увеличивается с 1894,17 кг/год до 36137,02 кг/год. Использование сепарации навоза на твёрдую и жидкую фракции с последующей их раздельной обработкой позволяет снизить выброс метана до 6269,70 кг/год. Выброс закиси азота происходит при переработке твёрдого навоза, его снижение возможно путём обеспечения регулируемого процесса аэрации.

Ключевые слова: *животноводство, переработка навоза, экология, метан, закись азота*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках 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., Максимов Д. А., Папушин Э. А., Шалавина Е. В., Матейчик С. Н. Интеллектуализированная оценка систем сбора и хранения навоза на молочной ферме по выбросу парниковых газов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):680–690. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.680-690

Поступила: 03.04.2025 Принята к публикации: 30.05.2025 Опубликована онлайн: 27.06.2025

Intelligent assessment of manure collection and storage systems on a dairy farm by the greenhouse gas emissions

© 2025. Eduard V. Vasilev, Dmitry A. Maksimov, Eduard A. Papushin✉, Ekaterina V. Shalavina, Svetlana N. Mateichik

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", Saint Petersburg Russian Federation

In greenhouse gas emissions a significant part is accounted for by livestock production. The largest amount comes from ruminants including the manure collection and storage facilities. As existing farms are modernized and new farms are built, the proportion of loose housing systems in them is increasing. They are characterized by a shift from solid manure to liquid manure production. The study is aimed at estimating the greenhouse gas emissions from different modern manure collection and storage systems on cattle farms. The estimation was based on data from one of the agricultural enterprises of the Northwestern Federal District following the Guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the developed national methodology for the inventory of greenhouse gas emissions. The study considered three most common manure

handling technologies. The results showed that the transition to liquid manure production systems contributed to an increase in greenhouse gas emissions due to higher methane production. At the agricultural enterprise studied, methane emissions increased from 1894.17 kg/year to 36137.02 kg/year. The application of manure separation into solid and liquid fractions followed by their individual treatment, reduced methane emissions to 6269.70 kg/year. Nitrous oxide is released during the solid manure processing. It can be reduced by controlled aeration.

Keywords*: animal husbandry, manure processing, ecology, methane, nitrous oxide*

Acknowledgements: 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 thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citations: Vasilev E. V., Papushin E. A., Maksimov D. A., Shalavina E. V., Mateichik S. N. Intelligent assessment of manure collection and storage systems on a dairy farm by the greenhouse gas emissions. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):680–690. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.680-690

Received: 03.04.2025 Accepted for publication: 30.05.2025 Published online: 27.06.2025

Во всем мире признано, что глобальное потепление является острой проблемой, требующей своевременного решения. Его основной причиной является повышение концентрации в атмосфере парниковых газов, таких как диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4), водяной пар (H_2O), закись азота (N_2O) и фтороводородные углеводороды, что приводит к повышению средней температуры поверхности Земли. В последние десятилетия темпы её роста дошли до 0,4 °С. На сегодняшний день это вызвало таяние ледников и арктического морского льда, что привело к повышению уровня моря с 1901 по 2010 год на 0,19 м. Увеличилось количество происходящих экстремальных погодных явлений [1].

По имеющимся оценкам, до 70 % возникновение парникового эффекта обеспечивается диоксидом углерода. За период с 1900 по 2008 год концентрация CO_2 в атмосфере увеличилась в 16 раз. Потенциал глобального потепления (ПГП), определяющий его интенсивность от каждого газа, имеет минимальное значение у CO_2 и он принят за 1 [1, 2, 3]. В соответствии с методиками, утвержденными Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ №371 от 27.05.2022, ПГП для CH_4 составляет 25, а для N_2O – 298[1].

Жвачные животные признаны одним из наиболее значительных источников парниковых газов. Метан и закись азота выделяются животными в результате анаэробного расщепления органических веществ в рубце и навозе, а также в результате процессов денитрификации и нитрификации, которые происходят в навозе. Около 14,5 % от общего объема глобальных выбросов парниковых газов в мире приходится на сектор животноводства[2]. Их величина от общего объема выбросов сельского хозяйства составляет 80 %. Выбросы от животноводства с 2000 по 2021 год выросли почти на 20 % [4, 5].

Прямые выбросы от животноводческого сектора во всем мире, включая CH_4 от энтеральной ферментации, а также CH_4 и N_2O от обращения с навозом, по данным FAO[3], составляют 3,7 Гт в CO_2 экв., из которых 54 % всех выбросов от животноводства относятся к CH_4.

Крупный рогатый скот является основным источником эмиссии парниковых газов, производя их примерно 62 % от всех видов животных. Выбросы метана и закиси азота зависят от численности популяции жвачных животных, их продуктивности и используемых систем обработки навоза [6, 7, 8].

Одним из основных факторов, определяющих выработку CH_4, является качество корма. Высокое содержание клетчатки (целлюлозы) в корме увеличивает выброс CH_4, поэтому используемый видовой состав и сроки уборки трав на корм имеют большое значение. Снижения выделения энтерального метана на единицу продукции можно достичь предварительной подготовкой грубых кормов и использованием их в определённом соотношении с концентратами, а также введением специальных кормовых добавок.

[1]Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ №371 от 27.05.2022 г. «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/350962750 (дата обращения 27.03.2025 г.).

[2]Livestock solutions for climate change. Technical paper. Italy: Rome, FAO, 2017. 8 p. URL: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8098en

[3]Pathways towards lower emissions – A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems. Italy, Rome: FAO, 2023. 77 p. [Электронный ресурс]. URL: https://doi.org/10.4060/cc9029en (дата обращения 27.03.2025 г.).

Выбросы при работе с образующимся навозом зависят не только от его состава, где большую роль играет содержание органического вещества и азота, но также и от технологии, определяющей технические решения по его хранению и переработке.

При обработке и хранении жидкого и полужидкого навоза формируются анаэробные условия, что способствует образованию метана. При обработке твёрдого навоза газообразование зависит от аэрации. При поступлении кислорода разложение происходит до CO_2, при его недостатке образуется CH_4.

Образование N_2O возможно только при определённых условиях. Для этого необходимо окисление аммиачного азота до нитратного (нитрификация), которое происходит в аэробных условиях с последующим его преобразованием в N_2O и молекулярный азот уже при анаэробных условиях. Такие комбинированные условия для нитрификации и денитрификации создаются при протекании пассивной аэрации.

В Национальном докладе о кадастре антропогенных выбросов 2023 года представлено, что выбросы парниковых газов по сельскохозяйственному сектору составили 121 Мт в CO_2 экв., из них 41 Мт в CO_2 экв. выброс метана от внутренней ферментации, 13,6 Мт в CO_2 экв. от систем сбора, хранения и использования навоза [9].

Доля выбросов от систем сбора и хранения навоза не самая большая. В то же время с учётом ведущихся работ по строительству новых ферм и комплексов, а также модернизации существующих ферм есть возможность провести оценку и определить направления, позволяющие снизить нагрузку по выбросам от данных технологических процессов.

В России в последние десятилетия наблюдается тенденция увеличения доли хозяйств с поголовьем от 1000 и более коров. Это обусловлено возможностью снизить затраты труда в 2-3 раза на производство единицы продукции и её себестоимость в 1,5–2,0 раза по сравнению с предприятиями средней и малой мощности. Одновременно с этим происходит увеличение доли беспривязных технологий содержания животных. Прогнозируется, что доля беспривязно-боксового содержания коров к 2030 году достигнет 60 %. В этом случае уборка навоза осуществляется скреперными установками с дальнейшей транспортировкой его с помощью насосов по трубопроводу или транспортёрами по закрытым каналам [10, 11, 12].

При беспривязном содержании стоки от доильного зала обычно смешиваются с экскрементами животных, туда же попадает вода от мытья поилок, что увеличивает влажность навоза до 94 %. Такая влажность позволяет транспортировать навоз в навозохранилище подземным трубопроводом. В результате упрощается процесс транспортировки, что способствует снижению загрязнения площади животноводческого комплекса [13, 14]. Реализация данной тенденции ведёт к увеличению доли образующегося жидкого навоза, а значит происходит изменение в выбросе парниковых газов.

Цель исследования – провести оценку образования парниковых газов от различных современных систем сбора и хранения навоза на типовой молочной ферме крупного рогатого скота Северо-Западного федерального округа (СЗФО).

Научная новизна – проведённая оценка позволяет выявить зависимость изменения выбросов парниковых газов от освоения современных систем сбора и хранения навоза, определить пути к их снижению.

Материал и методы. Приборный мониторинг с количественной оценкой всех выбросов от конкретной фермы на сегодняшний день очень затратный и практически трудноисполнимый. Для этих целей чаще используют несколько типов моделей, обеспечивающих оценку выбросов парниковых газов от различных систем и ферм в целом. В их основу положены принципы от применения простых коэффициентов выбросов до детального моделирования рассматриваемого процесса. При ежегодной инвентаризации парниковых газов в соответствии с Рамочной конвенцией ООН по изменению климата используют методы расчётного мониторинга. Более детальная оценка выбросов от систем сбора и хранения навоза проводится по Уровню 2[4] с использованием данных по потребляемым видам кормов и коэффициентам их перевариваемости, на основании чего ведётся расчёт валовой энергии (*GE*) и коэффициентов эмиссии.

[4]Распоряжение Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 15–р от 16 апреля 2015 г. «Об утверждении Методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/420278225 (дата обращения 27.03.2025 г.).

В исследовании оценку выбросов осуществляли на основе данных одного из типичных сельскохозяйственных предприятий Северо-Западного федерального округа (СЗФО), на котором моделировали выбросы парниковых газов для различных наиболее распространенных на сегодняшний день способов сбора и хранения навоза. Расчёты проводили по Уровню 2 Руководящих принципов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК)[5] по разработанной национальной методике[6].

В соответствии с данной методикой при оценке выбросов парниковых газов от систем сбора и хранения навоза CO_2 не учитывают. Считается, что идёт возврат CO_2, поглощённого растениями, выращиваемыми на корм животным, в процессе фотосинтеза. Поэтому расчёт проводили на основании выбросов CH_4 и N_2O.

Моделирование осуществляли с использованием разработанной информационной аналитической программной платформы[7] в подсистеме «Расчёт климатически активных веществ (метана и закиси азота) в животноводстве».

Результаты и их обсуждение. Расчёт выбросов CH_4 осуществляли по алгоритму, реализуемому разработанной программной платформой. Схема алгоритма представлена на рисунке 1. Оценку коэффициентов выбросов метана определяли по уравнению[8]:

$$EF_{(A)} = \left(VS_{(A)} \cdot 365\right) \cdot [B_{o(A)} \cdot \frac{0{,}67}{\text{м}^3} \cdot \cdot \sum_{B,D} \frac{MCF_{(B,D)}}{100} \cdot MS_{(A,B,D)}], \quad (1)$$

где $EF_{(A)}$ – коэффициент годовых выбросов CH_4 для заданной категории скота и птицы, кг CH_4/животное×год; $VS_{(A)}$ – суточное выделение летучего твердого вещества для заданной категории/подкатегории скота и птицы, кг сухого вещества/животное×год; 365 – основа для расчета годового производства VS, сутки/год; $B_{o\,(A)}$ – максимальная метанопродуцирующая способность для навоза скота (помета птицы) категории/подкатегории, м^3 CH_4/кг выделенных VS; 0,67 – коэффициент преобразования м^3 CH_4 в килограммы CH_4; $MCF_{(B,D)}$ – коэффициенты преобразования метана для каждой системы B сбора и хранения навоза и помета по климатическому региону, %; $MS_{(A,B,D)}$ – доля навоза (помета птицы) от категории скота, которая обрабатывается с использованием определенной системы сбора и хранения навоза и помета в климатическом регионе, не имеет размерности.

В соответствии с методикой, при расчёте по Уровню 2 среднесуточные темпы выделения летучих твердых веществ *VS (Volatile Solids)* для расчёта выбросов CH_4 оценивали по данным о потреблении и перевариваемости кормов по каждой категории/подкатегории животных *(T)*. Кроме того, в моделировании *VS* по Уровню 2 при расчёте выбросов метана подстилка (солома, опилки, щепа и др.) не учитывается. В методике принимается, что ее использование обычно связано с системами хранения сухих отходов и не приводит к значительному увеличению общего выброса метана.

Существенную роль играет тип применяемых систем сбора и хранения навоза с соответствующим им коэффициентом преобразования метана *MCF (Methane Conversion Factor*), показывающий долю выделения метана от его максимального количества, которое может быть получено из данного навоза (B_o). Для коров значение B_o составляет 0,24 м^3CH_4/кг *VS*, а для остального поголовья КРС – 0,17 м^3CH_4/кг *VS*. Значения *MCF* определяются для конкретной системы сбора и хранения навоза и зависят от имеющихся анаэробных условий, температуры системы и времени удерживания в ней органического материала. Для сравнения рассмотрены три системы сбора и хранения навоза на молочных фермах крупного рогатого скота:

1) ранее широко использовавшееся компостирование в буртах с *MCF* = 0,5 %;

2) распространившаяся при беспривязном содержании животных система хранения жидкого навоза в резервуарах с образованием естественной поверхностной корки с *MCF* = 10 % при средней годовой температуре ниже 10 °С, что соответствует условиям рассматриваемого предприятия;

[5]2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol.4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html (дата обращения: 27.03.2025).
[6]URL: https://docs.cntd.ru/document/420278225 (дата обращения 27.03.2025 г.).
[7]Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024681867 от 16.09.2024 г. [Электронный ресурс]. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=69650162 (дата обращения 27.03.2025 г.).
[8]URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html

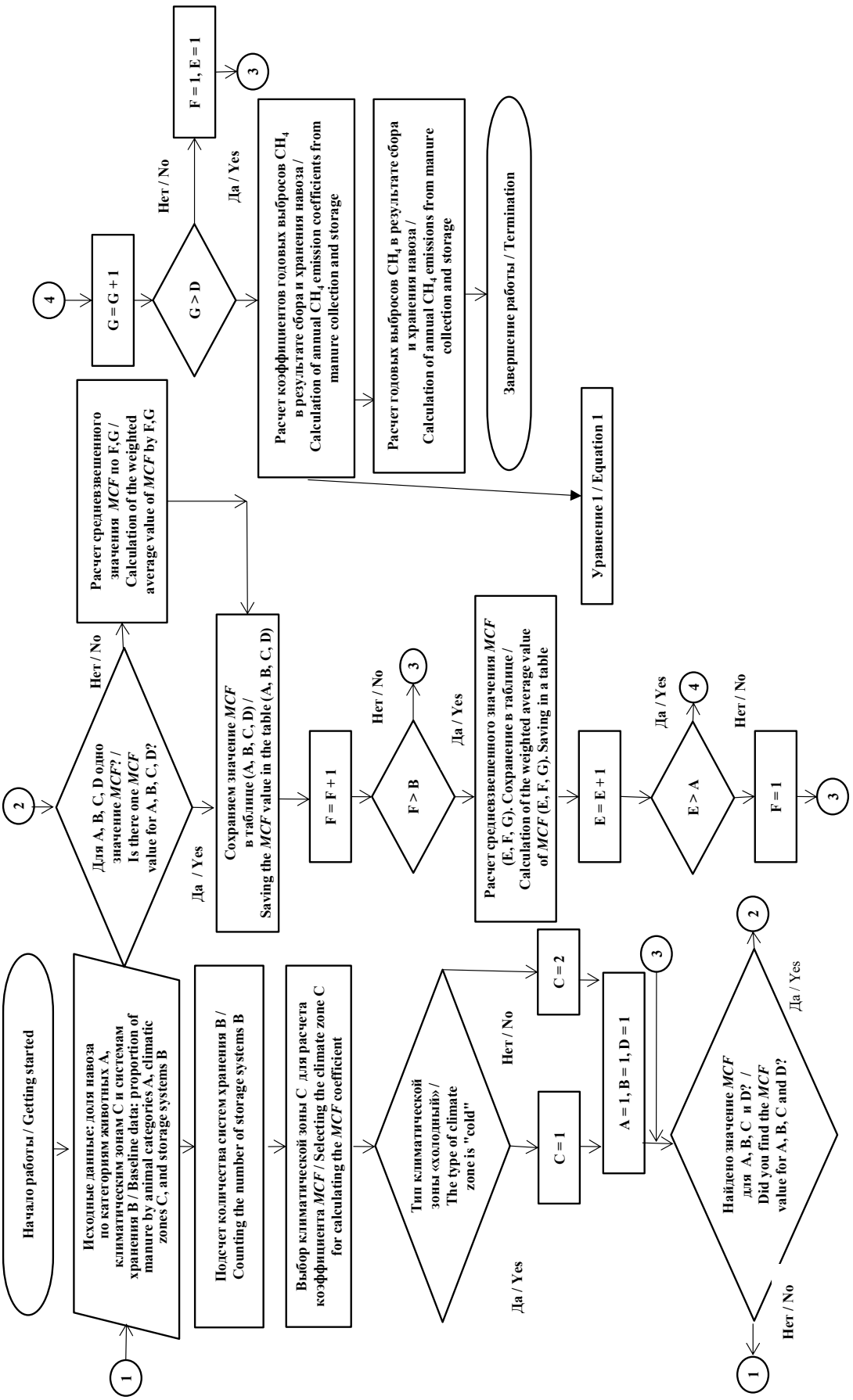


Рис. 1. **Схема алгоритма расчёта выбросов CH_4: A – категории животных; B – системы хранения; C – климатические зоны; D – временные периоды; E – счетчик категории животных; F – счетчик систем хранения; G – счетчик временных периодов /**
Fig. 1. **Calculation algorithm of CH_4 emissions: A – animal categories; B – storage systems; C – climatic zones; D – time periods; E – animal category counter; F – storage system counter; G – time period counter**

3) разделение жидкого навоза на фракции с последующим длительным выдерживанием жидкой фракции с *MCF* = 17 %, так как после исключения при сепарации волокнистых и крупных кусков органического материала корка во время хранения не образуется, и пассивным компостированием твердой фракции с *MCF* = 0,5 %.

Оценку прямых выбросов N_2O для каждой из рассматриваемых систем осуществляли в соответствии с уравнением (2)[9] и по алгоритму, реализованному в программной платформе, схема которого представлена на рисунке 2.

Для этого определяли суммарное годовое поглощение азота и его удержание животными через величину суточного потребления азота посредством потребляемой валовой энергии рациона *GE (Gross Energy)* и процентной доли сырого белка *CP* (*Crude Protein*) в его составе, а также доли годового поглощения азота, которая для коров составляет 0,2, а для прочего КРС – 0,07.

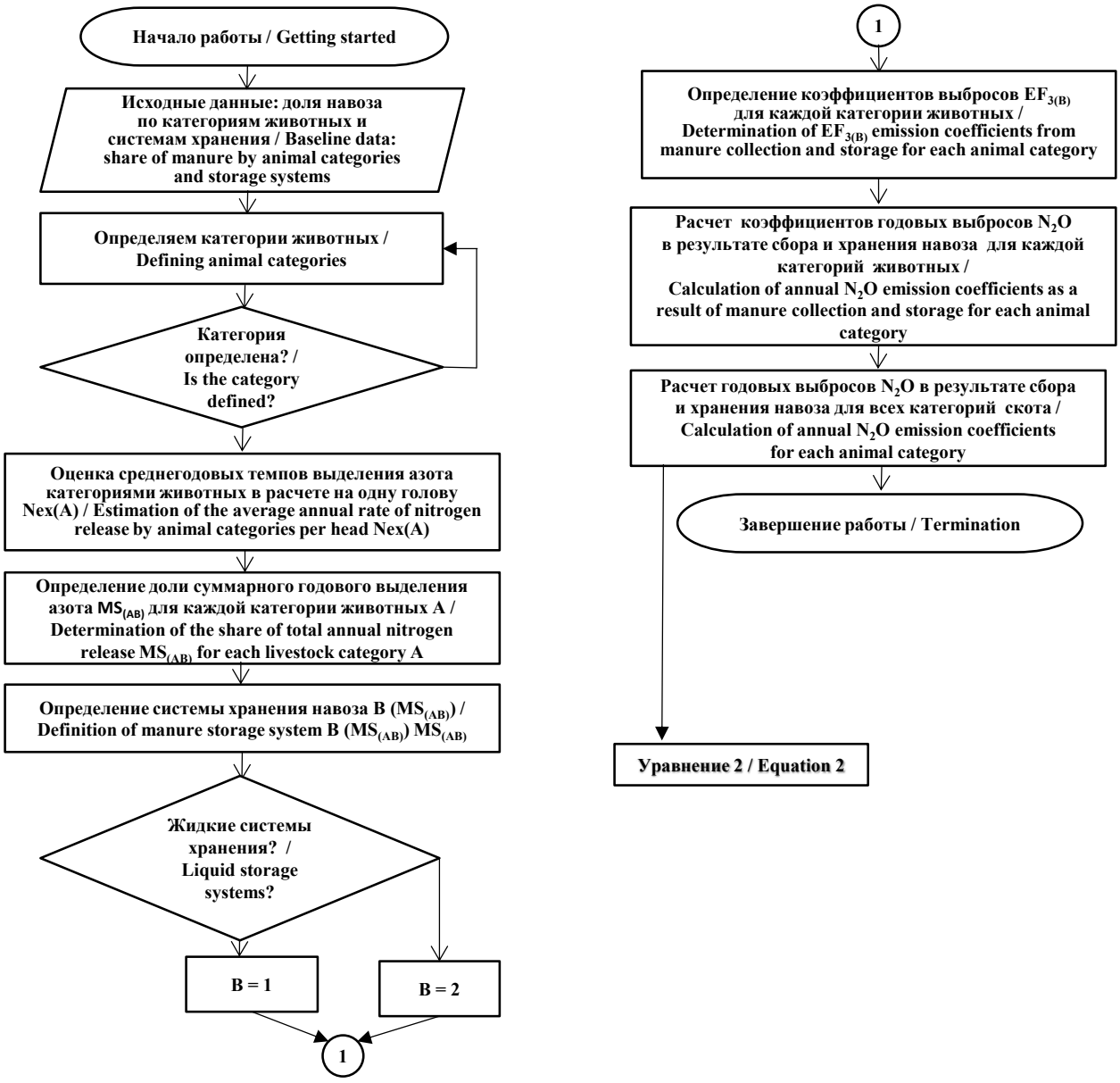


Рис. 2. **Схема алгоритма расчёта выбросов N_2O /**
Fig. 2. **Calculation algorithm of N_2O emissions**

[9]URL: https://docs.cntd.ru/document/420278225

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_B\left[\sum_A(N_{(A)} \cdot Nex_{(A)} \cdot \right.\right. \cdot \left.\left. MS_{(A,B)}\right] \cdot EF_{3(B)}\right] \cdot \frac{44}{28}, \quad (2)$$

где $N_2O_{D(mm)}$ – прямые выбросы N_2O в результате сбора и хранения навоза и помета в регионе, кг N_2O/год; $N_{(A)}$ – количество голов категории скота и птицы в регионе; $Nex_{(A)}$ – среднегодовое выделение азота на одну голову скота категории в регионе, кг N/животное×год; $MS_{(A,\ B)}$ – доля суммарного годового выделения азота для каждой категории скота и птицы, которая обрабатывается в рамках системы сбора и хранения навоза и помета в данном регионе, не имеет размерности; $EF_{3(B)}$ – коэффициент для прямых выбросов N_2O от системы сбора и хранения навоза и помета в регионе, кг N_2O-N/кг N в системе; B – система сбора и хранения навоза и помета; A – категория скота и птицы; 44/28 – коэффициент преобразования выбросов из единиц азота (N_2O-N) в выбросы N_2O.

Исходные данные моделируемого объекта по информации, представленной предприятием, на основе используемых рационов с расчётом валовой энергии, представлены в таблице 1.

Интенсификация производства привела к уходу от пастбищного содержания животных, а также к изменению их характеристик, рациону кормления и продуктивности.

Результаты расчётов выбросов метана от систем сбора и хранения навоза по Уровню 2 с учётом имеющихся подкатегорий животных и для всех рассматриваемых возможных технологических решений, представлены в таблице 2.

Таблица 1 – **Данные по типичному сельскохозяйственному предприятию СЗФО /**
Table 1 – **Data on a typical agricultural enterprise in the Northwestern Federal District**

Подкатегории животных / Animal category	*Поголовье, гол. / Animal stock, heads*	*Суточный рацион на гол. / Daily ration per head*		*GE, МДж/сут. / MJ/day*
		к. е. / feed units	*с. в., кг / DM, kg*	
Лактирующие коровы / Lactating cows	640	23,63	23,23	428,6
Сухостойные коровы и нетели / Dry cows and heifers	320	14,53	16,56	268,6
Ремонтный молодняк / Replacement young animals	356	2,70	5,70	105,1

Таблица 2 – **Расчёт выбросов метана по рассмотренным системам сбора и хранения навоза на молочных фермах крупного рогатого скота /**
Table 2 – **Calculation of methane emissions from the considered manure collection and storage systems on cattle dairy farms**

Подкатегории животных / Animal category	*DE% переваримость корма, % / Feed digestibility, %*	*$VS_{(T)}$, кг с. в./ год.*гол / kg DM/ year/head*	*Выбросы CH_4 по вариантам систем, кг/год / CH_4 emissions by system options, kg/year*		
			1	*2*	*3*
Лактирующие коровы / Lactating cows	72,1	6,82	1280,88	25617,58	4239,71
Сухостойные коровы и нетели / Dry cows and heifers	68,8	5,36	503,06	10061,17	1665,12
Ремонтный молодняк / Replacement young animals	75,6	1,49	110,23	458,27	364,87
Итого по ферме / Total on the farm			1894,17	36137,02	6269,70

Примечание: 1 – компостирование в буртах с *MCF* = 0,5 %; 2 – система хранения жидкого навоза в резервуарах с образованием естественной поверхностной корки с *MCF* = 10 % при средней годовой температуре ниже 10 °С; 3 – разделение жидкого навоза на фракции с последующим длительным выдерживанием жидкой фракции с *MCF* = 17 % /
Notes: 1 – composting in clamps with *MCF* = 0.5 %; 2 – liquid manure storage system in tanks with the formation of a natural surface crust with *MCF* = 10 % at an average annual temperature below 10 °C; 3 – separation of liquid manure into fractions followed by long-term storage of the liquid fraction with *MCF* = 17 %

Из представленных результатов видно, что в процессе интенсификации молочного животноводства и переходе к системам по работе с жидким навозом растёт количество выбросов метана, так как эти системы способствуют созданию анаэробных условий. Применение сепарации и последующая переработка отдельно жидкой и твёрдой фракции позволяет существенно снизить выбросы метана.

В таблице 3 представлены результаты расчётов по прямым выбросам закиси азота в зависимости от вариантов рассматриваемых технологий.

Таблица 3 – **Расчёт выбросов закиси азота по рассмотренным системам сбора и хранения навоза на молочных фермах крупного рогатого скота /**
Table 3 – **Calculation of nitrous oxide emissions from the considered manure collection and storage systems on cattle dairy farms**

Подкатегории животных / Animal category	$N_{ex(T)}$ *экскреция азота, кг/год гол. / Nitrogen excretion, kg/year head*	*Прямые выбросы N_2O по вариантам систем, кг/год / Direct N_2O emissions by system options, kg/year*		
		1	*2*	*3*
Лактирующие коровы / Lactating cows	195,36	1964,71	982,36	1827,18
Сухостойные коровы и нетели / Dry cows and heifers	129,21	649,72	324,86	604,24
Ремонтный молодняк / Replacement young animals	48,29	270,17	135,09	251,26
Итого / Total		2884,60	1442,30	2682,68

Примечания: 1 – компостирование в буртах с *MCF* = 0,5 %; 2 – система хранения жидкого навоза в резервуарах с образованием естественной поверхностной корки с *MCF* = 10 % при средней годовой температуре ниже 10 °С; 3 – разделение жидкого навоза на фракции с последующим длительным выдерживанием жидкой фракции с *MCF* = 17 % /

Notes: 1 – composting in clamps with *MCF* = 0.5 %; 2 – liquid manure storage system in tanks with the formation of a natural surface crust with *MCF* = 10 % at an average annual temperature below 10 °C; 3 – separation of liquid manure into fractions followed by long-term storage of the liquid fraction with *MCF* = 17%

Из полученных данных следует, что наибольший выброс закиси азота происходит в системах, осуществляющих ферментацию твёрдых материалов, где формируются условия, способствующие процессам нитрификации и денитрификации, необходимым для образования N_2O.

Общую оценку выбросов парниковых газов принято осуществлять в CO_2 эквиваленте путём пересчёта всех составляющих через соответствующие им значения потенциала глобального потепления. При проведении оценки по данному показателю установили, что для рассматриваемого предприятия:

- при компостировании в буртах выброс парниковых газов составит 907 т CO_2 экв./год;
- при хранении жидкого навоза в резервуарах с образованием естественной поверхностной корки выброс парниковых газов составит 1 333,2 т CO_2 экв./год;
- при разделении навоза на фракции с последующим длительным выдерживанием жидкой фракции и пассивным компостированием твердой фракции выброс парниковых газов составит 956,2 т CO_2 экв./год.

Полученные результаты показывают, что интенсификация производства в молочном животноводстве с переходом к работе с жидким навозом способствует увеличению выбросов парниковых газов от систем сбора и хранения навоза. В то же время применение сепарации навоза с последующей работой с жидкой и твёрдой фракциями позволит снизить общий выброс. Достигнуть ещё большего снижения выбросов возможно через совершенствование технических решений, направленных на управление режимами работы системы аэрации по обработке твёрдой фракции навоза [15, 16].

Заключение. Жвачные животные признаны одним из существенных источников выброса парниковых газов. Помимо энтеральной ферментации значительные объёмы выбросов образуются от систем сбора и хранения навоза, где большую роль играют используемые технологии. Интенсификация молочного животноводства с целью повышения его продуктивности, снижения себестоимости и трудозатрат привела к укрупнению предприятий данного направления, переходу их на беспривязное содер-

жание животных, где применяются системы работы с жидким навозом.

Используя метод расчётного мониторинга на основе Методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации, реализованный в подсистеме «Расчёт климатически активных веществ (метана и закиси азота) в животноводстве»[10] Информационной аналитической программной платформы, проведена оценка широко применяемых систем работы с навозом на примере типичной фермы СЗФО.

Проведённая оценка показала, что переход к системам работы с жидким навозом приводит к увеличению выбросов парниковых газов за счёт увеличенного выброса метана. Применение технологии разделения навоза на фракции с последующей их раздельной переработкой позволяет снизить выброс метана на 28 % по сравнению с хранением жидкого навоза в резервуарах с образованием естественной поверхностной корки. Снижение выбросов закиси азота при обработке твёрдой фракции навоза возможно путём управления режимами ее аэрации.

Список литературы

1. Jose V. S., Sejian V., Bagath M., Ratnakaran A. P., Lees A. M., Al-Hosni Y. A. S. et al. Modeling of greenhouse gas emission from livestock. Frontiers in Environmental Science. 2016;4:27.
DOI: https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00027

2. Rotz C. A. Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. Journal of Dairy Science. 2018;101(7):6675–6690 DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2017-13272

3. Genstwa N., Zmyślona J. Greenhouse gas emissions efficiency in Polish agriculture. Agriculture. 2024;14(1):56. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture14010056

4. Prasad R. J., Sourie S. J., Cherukuri V. R., Fita L., Merera C. E. Global warming: genesis, facts and impacts on livestock farming and mitigation strategies. International Journal of Agriculture Innovations and Research. 2015;3(5): 2319–1473.
URL: https://ijair.org/administrator/components/com_jresearch/files/publications/IJAIR_1267_Final.pdf

5. Regan C., Perveen S., Sandhu H. Updated global emissions from the livestock sector. Australia: Adelaide, University of South Australia Report, 2021. 146 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/362065392

6. 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

7. Christophe S., Pentieva K., Botsaris G. Knowledge and practices of cypriot bovine farmers towards effective and safe manure management. Veterinary Sciences. 2023;10(4):293. DOI: https://doi.org/10.3390/vetsci10040293

8. Шанина Е. В. Выбросы парниковых газов от животноводства. Научно-практические аспекты развития АПК: мат-лы национ. науч. конф. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2023. С. 35–37.
Режим доступа: http://www.kgau.ru/new/all/science/04/content3/70.pdf

9. Вертянкина В. Ю. Оценка выбросов парниковых газов в секторе животноводство на территории Российской Федерации. Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: приземный климат, загрязняющие и климатически активные вещества: мат-лы III Всеросс. науч. конф. с международным участием. М.: ФГБУ «ИГКЭ», 2023. С. 77–81. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=59986856 EDN: UZBPKM

10. Хазанов В. Е., Гордеев В. В., Гордеева Т. И., Миронова Т. Ю., Вторая Е. В. Технологическое проектирование молочных ферм КРС. СПб.: ИАЭП, 2023. 117 с.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=58734897 EDN: YHIZPT

11. Брюханов А. Ю., Шалавина Е. В., Васильев Э. В. Прогнозное распределение технологий переработки навоза КРС в Российской Федерации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(3):507–517.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.507–517 EDN: CKOBWN

12. 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

13. Слиган М. Е., Гордеев В. В. Сравнительная оценка систем навозоудаления на фермах КРС в условиях Северо-Запада России. АгроЭкоИнженерия. 2024;(3(120)):168–183.
DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-3120-168-183 EDN: AUFQUE

14. Гордеев В. В., Миронова Т. Ю., Хазанов В. Е., Гордеева Т. И., Миронов В. Н. Структурная схема управления технологическим процессом навозоудаления. АгроЭкоИнженерия. 2021;(2(107)):115–125.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=46302063 EDN: GEUAAX

[10]URL: https://docs.cntd.ru/document/420278225

15. Васильев Э. В., Максимов Д. А., Шалавина Е. В. Результаты исследований биотермической ферментативной переработки органических отходов свиноводческого комплекса с оценкой образующихся выбросов. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023;(3(63)):200–206. DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-3-200-206 EDN: FPWRVP

16. Васильев Э. В., Егоров С. А., Максимов Д. А., Шалавина Е. В. Исследование аэробной ферментативной переработки смеси конского и козьего навоза с оценкой потерь углерода и азота газовым выбросом. Техника и оборудование для села. 2024;(9(327)):29–32. DOI: https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-9-29-32 EDN: UVLYUB

References

1. Jose V. S., Sejian V., Bagath M., Ratnakaran A. P., Lees A. M., Al-Hosni Y. A. S. et al. Modeling of greenhouse gas emission from livestock. Frontiers in Environmental Science. 2016;4:27. DOI: https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00027

2. Rotz C. A. Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. Journal of Dairy Science. 2018;101(7):6675–6690 DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2017-13272

3. Genstwa N., Zmyślona J. Greenhouse gas emissions efficiency in Polish agriculture. Agriculture. 2024;14(1):56. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture14010056

4. Prasad R. J., Sourie S. J., Cherukuri V. R., Fita L., Merera C. E. Global warming: genesis, facts and impacts on livestock farming and mitigation strategies. International Journal of Agriculture Innovations and Research. 2015;3(5): 2319–1473. URL: https://ijair.org/administrator/components/com_jresearch/files/publications/IJAIR_1267_Final.pdf

5. Regan C., Perveen S., Sandhu H. Updated global emissions from the livestock sector. Australia: Adelaide, University of South Australia Report, 2021. 146 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/362065392

6. Petrunina I. V., Gorbunova N. A. Systemic measures on reduction of greenhouse gas emissions in animal husbandry enterprises. A review. *Pishchevye sistemy* = Food systems. 2022;5(3):202–211. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211

7. Christophe S., Pentieva K., Botsaris G. Knowledge and practices of cypriot bovine farmers towards effective and safe manure management. Veterinary Sciences. 2023;10(4):293. DOI: https://doi.org/10.3390/vetsci10040293

8. Shanina E. V. Greenhouse gas emissions from animal husbandry. Scientific and practical aspects of the development of the agro-industrial complex: Proceedings of the national scientific conference. Krasnoyarsk: *Krasnoyarskiy GAU*, 2023. pp. 35–37. URL: http://www.kgau.ru/new/all/science/04/content3/70.pdf

9. Vertyankina V. Yu. Assessment of greenhouse gas emissions from livestock in the Russian Federation. Monitoring of the state and pollution of the environment: surface climate, pollutants and climatically active substances: proceedings of the III All-Russian Scientific Conference with international participation. Moscow: *FGBU «IGKE»*, 2023. pp. 77–81. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=59986856

10. Khazanov V. E., Gordeev V. V., Gordeeva T. I., Mironova T. Yu., Vtoraya E. V. Technological designing of cattle dairy farms. Saint Petersburg: *IAEP*, 2023. 117 p. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=58734897

11. Briukhanov A. Yu., Shalavina E. V., Vasilev E. V. Forecast distribution of cattle manure processing technologies in the Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(3):507-517. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.507-517

12. Vtoryy V. F., Vtoryy 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

13. Sligan M. E., Gordeev V. V. Comparative evaluation of manure removal systems on cattle farms in the conditions of the Northwest of Russia. *Ag-roEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2024;(3(120)):168–183. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-3120-168-183

14. Gordeev V. V., Mironova T. Yu., Khazanov V. E., Gordeeva T. I., Mironov V. N. Block diagram of manure removal control. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2021;(2(107)):115–125. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=46302063

15. Vasilev E. V., Maksimov D. A., Shalavina E. V. Research results of biothermal ferementative processing of organic waste from a pig rearing complex with assessment of emissions generated. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2023;(3(63)):200–206. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-3-200-206

16. Vasilev E. V., Egorov S. A., Maksimov D. A., Shalavina E. V. Study of aerobic enzymatic digestion of horse and goat manure mixture with assessment of carbon and nitrogen losses by gas emission. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2024;(9(327)):29–32. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-9-29-32

Сведения об авторах

Васильев Эдуард Вадимович, кандидат техн. наук, заведующий отделом анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Фильтровское ш., д. 3, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: nii@sznii.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5910-5793**

Максимов Дмитрий Анатольевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Фильтровское ш., д. 3, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: nii@sznii.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7032-3081**

✉ **Папушин Эдуард Александрович,** кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Фильтровское ш., д. 3, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: nii@sznii.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7035-4654,** e-mail: papushinea@yandex.ru

Шалавина Екатерина Викторовна, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Фильтровское ш., д. 3, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: nii@sznii.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7345-1510**

Матейчик Светлана Николаевна, инженер-программист отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Фильтровское ш., д. 3, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: nii@sznii.ru

Information about the authors

Eduard V. Vasilev, DSc in Engineering, Head of the Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoje Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: nii@sznii.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5910-5793**

Dmitry A. Maksimov, DSc in Engineering, leading researcher, the Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoje Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: nii@sznii.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7032-3081

✉ **Eduard A. Papushin,** DSc in Engineering, leading researcher, the Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoje Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: nii@sznii.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7035-4654, e-mail: papushinea@yandex.ru

Ekaterina V. Shalavina, DSc in Engineering, senior researcher, the Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoje Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: nii@sznii.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7345-1510

Svetlana N. Mateichik, software development engineer, the Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoje Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: nii@sznii.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЭКОНОМИКА / ECONOMY

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.691–706
УДК 332.36

Устойчивое развитие агропромышленного производства: подходы, принципы, цели и индикаторы

© 2025. А. И. Костяев✉, Г. Н. Никонова
ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В условиях нарастания внешних шоков и ресурсных ограничений сохраняется актуальность уточнения теоретико-методологических представлений о механизмах устойчивой адаптации субъектов аграрной экономики к складывающимся реалиям. Несмотря на значительное количество публикаций по данной проблеме в решении общепланетарных задач, требуется переход от изучения вопросов устойчивого развития глобального масштаба к рассмотрению их в территориально-отраслевом аспекте. Цель работы – обоснование методологических подходов к исследованию устойчивости в развитии агропромышленного производства на региональном уровне с учетом соответствующих документов ООН и частичная апробация выбранных индикаторов и показателей применительно к условиям Северо-Запада. На основе анализа отечественных и зарубежных трудов сделан вывод об отсутствии единства научных взглядов относительно понятия «устойчивое развитие», о встречающихся исследованиях аграрных проблем без увязки с целями устойчивого развития, согласно концепциям ООН. Сформулировано авторское определение устойчивого развития агропромышленного производства и показано, что из 17 целей ООН в области устойчивого развития в шесть из них вносят вклад сельские территории и агропромышленное производство. Предложена совокупность принципов, направленных на обеспечение устойчивости динамики процессов в региональном агропромышленном производстве. Рассмотрены цели устойчивого развития для регионального агропромышленного производства и соответствующие индикаторы их реализации, скоординированные с целями устойчивого развития ООН. Проведена апробация теоретических и методических положений на материалах Северо-Запада. С использованием коэффициентов ранговой корреляции Спирмена определены показатели устойчивости динамики физического объема валовой добавленной стоимости (ВДС), темпов роста производства продукции сельского хозяйства и самообеспеченности региона основными продуктами питания. Выявлены позитивные и негативные тенденции в динамике устойчивости развития агропромышленного производства.

Ключевые слова: *устойчивость развития, динамика процесса, аграрный сектор, Северо-Запад*

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Минобнауки в рамках выполнения Государственного задания ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (тема № FFZF-2025-0015).

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

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

Для цитирования: Костяев А. И., Никонова Г. Н. Устойчивое развитие агропромышленного производства: подходы, принципы, цели и индикаторы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):691–706.

DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.691-706

Поступила: 11.05.2025 Принята к публикации: 16.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Sustainable development of agro-industrial production: approaches, principles, goals and indicators

© 2025. Alexander I. Kostyaev✉, Galina N. Nikonova
St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation

In the context of increasing external shocks and resource constraints, it remains urgent to clarify theoretical and methodological ideas about the mechanisms of sustainable adaptation of subjects of the agrarian economy to the emerging realities. Despite the significant number of publications on this issue in solving general planetary problems, it is necessary to move from studying issues of sustainable development on a global scale to considering them in a territorial and sectoral aspect. Therefore, the aim of the work was to substantiate methodological approaches to the study of sustainability in the development of agro-industrial production at the regional level, taking into account relevant UN documents, and partially test selected indicators and indicators in relation to the conditions of the Northwest. Based on the analysis of domestic and foreign works, it is concluded that there is a lack of unity of scientific views on the concept of "sustainable development", and that there are studies of agricultural problems without linking them to sustainable development goals, according to UN concepts. The author's definition of sustainable development of agro-industrial production is formulated and it is shown that of the 17 UN Sustainable Development Goals, rural areas and agro-industrial production contribute to six of them. A set of principles aimed at ensuring the

sustainability of the dynamics of processes in regional agro-industrial production is proposed. The sustainable development goals for regional agro-industrial production and relevant indicators of their implementation, coordinated with the UN Sustainable Development Goals, are considered. The theoretical and methodological provisions were tested on the materials of the North-West. Using Spearman's rank correlation coefficients, the indicators of the stability of the dynamics of the physical volume of GVA, the growth rate of agricultural production and the region's self-sufficiency in basic foodstuffs were determined. The positive and negative trends in the dynamics of sustainable development of agro-industrial production have been identified.

Keywords: *sustainability of development, process dynamics, agricultural sector, North-West*

Acknowledgments: the work was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (theme no. FFZF-2022-0018).

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

Conflict of interest: The authors declared that they have no conflict of interest.

For citations*:* Kostyaev A. I., Nikonova G. N. Sustainable development of agro-industrial production: approaches, principles, goals and indicators. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):691–706. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.691-706

Received: 11.05.2025 Accepted for publication: 16.06.2025 Published online: 30.06.2025

Устойчивое развитие агропромышленного производства, с одной стороны, можно рассматривать как понятие, производное от термина «устойчивое развитие», предложенного в качестве «новой концепции существования человечества» в материалах ООН[1]. С другой же стороны, устойчивость в развитии агропромышленного производства на уровне региона следует понимать как процесс расширенного воспроизводства, динамику данного процесса, как противоположность колеблемости и нестабильности в его функционировании.

По проблемам устойчивого развития, с позиций ООН, опубликованы тысячи научных статей, сотни монографий, посвященных его различным аспектам от глобального до локального уровней и, по мнению профессора С. Н. Бобылева, дано более 80 определений данного понятия [1]. В этом случае, принято считать, что фундаментом устойчивого развития как в теории, так и экономической практике являются «быстро развивающаяся зеленая экономика, а также ее различные типы: экономика замкнутого цикла, минимизирующая используемые ресурсы и отходы; низкоуглеродная экономика, снижающая выбросы парниковых газов; синяя экономика, связанная с морями и океанами; биоэкономика, базирующаяся на природных компонентах, и другие эколого-экономические модификации, в том числе концепция: «экология, общество, управление» (ESG), учитывающая экологические, экономические и социальные аспекты устойчивого развития» [2, с. 48].

Как правило, большинство публикаций на тему устойчивого развития начинаются с рассмотрения материалов Конференции ООН по проблемам окружающей человека среды (1972 г., г. Стокгольм)[2], Доклада «Наше общее будущее» Всемирной комиссии ООН по окружающей среде и развитию (1987 г.)[3], и «Декларации по окружающей среде и развитию», принятой на Конференции по устойчивому развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.)[4], а также анализа ряда других Докладов, Деклараций и Резолюций, принятых позднее в развитие «концепции устойчивого развития». Причем в последние годы, как показывает зарубежная практика, наиболее частыми направлениями устойчивого развития стали органическое земледелие, агролесомелиорация и сельское хозяйство с учетом климатических условий [3].

Вместе с тем, термин «устойчивое развитие», предложенный в Декларациях и Докладах ООН, до сих пор не устраивает многих исследователей. Первоначально в Докладе «Наше общее будущее» (Bruntland Report, 1987 г.) сущность данного понятия была определена весьма расплывчато, как «развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего, не ставя под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности»[5].

[1]Report of the World Commission on Environment and Development. Our Common Future. United Nations, 1987. 247 p. URL: https://www.alor.org/Storage/Library/PDF/Our_Common_Future_Brundtland_Report1987.pdf
[2]Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment (1972 г.).
URL: http://www.un-documents.net/unche-dec.pdf
[3]URL: https://www.alor.org/Storage/Library/PDF/Our_Common_Future_Brundtland_Report1987.pdf
[4]The Rio Declaration on Environment and Development (1992).
URL: https://www.iau-hesd.net/sites/default/files/media_files/rio_e.pdf
[5]URL: https://www.alor.org/Storage/Library/PDF/Our_Common_Future_Brundtland_Report1987.pdf

Авторы Доклада при этом считали, что «выработка общепринятого определения понятия «устойчивое развитие» остается сложной задачей для всех участников процесса развития». В частности, профессор из США в то время отмечал, что несмотря на трудности, связанные с аналитически строгим определением устойчивости развития, существует необходимость в разработке его концепции, отличающей слово «развитие» от других послевоенных значений и полезной для практического анализа и разработки политики» [4, с. 101].

В работах по вопросам устойчивого развития агропромышленного производства на этот счет возникает также не меньше вопросов. Например, академик И. Н. Буздалов считал, что «пока нет общепринятого определения понятия такой формы или модели развития, как устойчивое» [5, с. 265]. По мнению академика Н. Н. Моисеева, на которого ссылается И. Н. Буздалов, понятия «устойчивость» и «развитие» являются вообще несовместимыми и противоречивыми при употреблении в едином словосочетании, так как в одном случае речь идет о статике, а в другом – о динамике. Группа авторов во главе с академиком И. Г. Ушачевым отмечают, что существует «если и не разночтимость, то множественность интерпретаций самого термина «устойчивое развитие» [6, с. 11]. Коллектив бразильских ученых признает, что различные авторы указывают на сложность интерпретации и концептуализации устойчивого развития в сельском хозяйстве, поскольку концепция является расплывчатой и одновременно неоднозначной. Это делает понимание и достижение устойчивости в сельскохозяйственном секторе сложной темой и пока недостаточно изученной [3].

Тем не менее, в ряде научных публикаций проблемы устойчивого развития агропромышленного производства рассматриваются в русле положений Доклада «Наше общее будущее» [7, 8, 9]. Вместе с тем, противоречивость в определении каждого из слов в словосочетании «устойчивое развитие», на что указывают академик РАН В. И. Трухачев [10, с. 21-22], а также ученые из Саранска, ссылаясь на «Толковый словарь русского языка» С. И. Ожегова, обусловила появление второго подхода к данной проблеме. В этом случае устойчивость предложено рассматривать как стабильность: «устойчивость (стабильность) системы следует понимать как ее способность функционировать, не изменяя собственную структуру, и находиться в равновесии при наличии внешних воздействий» [11, с. 9].

Анализ показал, что в некоторых работах [10, 12, 13, 14] данный вопрос исследуется вне зависимости от подходов ООН, основанных на перспективах глобального развития человечества, и даже без упоминания о них. Так, В. М. Белоусов определяет устойчивое развитие агропромышленного производства как систему, обеспечивающую «достижение необходимых целеполагающих результатов хозяйственной деятельности с минимальной колеблемостью их величин в случае изменения внешних и внутренних условий производства, при оптимальной экономической эффективности использования имеющихся ограниченных ресурсов» [15, с. 7]. Наряду с этим, некоторые авторы, применительно к сельскохозяйственному сектору термины «устойчивое сельское хозяйство» и «устойчивое развитие в сельском хозяйстве» используют в качестве синонимов [3]. В зарубежных публикациях поднимаются также вопросы о влиянии устойчивости сельского хозяйства на реализацию целей устойчивого развития ООН [16, 17].

На основе обобщения научных публикаций можно сделать вывод о нерешенности до конца указанной проблемы, что определяет актуальность дальнейшего ее изучения. Прежде всего, необходимо синхронизировать два рассмотренных выше подхода к устойчивому развитию, объединить их в единой конструкции и определить особенности перехода от изучения проблемы устойчивого развития в глобальном масштабе к рассмотрению данного вопроса применительно к территориально-отраслевому срезу, то есть к уровню регионального агропромышленного производства и сельских территорий [12, 13].

Цель работы – обоснование методологических подходов к исследованию устойчивости в развитии агропромышленного производства на региональном уровне с учетом соответствующих документов ООН и частичная апробация выбранных индикаторов применительно к условиям Северо-Запада. При этом были решены следующие исследовательские задачи: 1. Установлена сущность понятия «устойчивое развитие» применительно к агропромышленному производству на уровне региона. 2. Осуществлены анализ научных подходов к феномену устойчивого развития и оценка их применимости к агропромышленному производству в регионе. 3. Обоснованы принципы устойчи-

вого развития агропромышленного производства региона. 4. Предложен авторский вариант целей, индикаторов и показателей устойчивого развития агропромышленного производства. 5. Проведено частичное наложение основных целей и индикаторов на ситуацию в Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) и на этой основе рассчитаны показатели устойчивости агропромышленного производства в динамике.

Научная новизна – впервые проблемы устойчивого развития агропромышленного производства рассматриваются как с позиций ООН, так и исходя из задач обеспечения устойчивого развития самого агропромышленного производства. Авторы решили проблему разобщенности данных подходов к исследованию проблемы устойчивого развития. Определены цели устойчивого развития (ЦУР) ООН, реализация которых связана с агропромышленным производством. Предложена система целей и индикаторов реализации устойчивого развития агропромышленного производства, скоординированных с ЦУР ООН.

Материал и методы. В ходе исследования использовались материалы Деклараций, Докладов, Концепций, Программ ООН (в т. ч. ФАО) и официальные документы Российской Федерации по устойчивому развитию. Относительно агропромышленного производства была задействована информация Росстата, в частности данные Системы национальных счетов, продовольственных балансов, Бюллетеней по сельскому хозяйству и другие. В работе применяли системный подход и общенаучные методы (абстрагирование, анализ, синтез и др.), а также индексный метод, анализ рядов динамики, группировки и другие. Исходя из рассмотренных выше научных подходов, применялись коэффициенты динамики устойчивости исследуемых процессов, которые вслед за С. А. Сусловым и И. В. Громовой [18], рассчитывались на основе корреляции рангов Спирмена по формуле:

$$K_s = 1 - \frac{6 * \sum d^2}{n(n^2 - 1)}, \qquad (1)$$

где d – разность рангов последовательно расположенных лет от a до n в данном периоде и рангов значений индексов устойчивого развития агропромышленного производства региона, им соответствующих.

Экономический смысл расчетов заключался в том, что чем меньше разность рангов d и при этом она стремится к нулю, а коэффициент K_s является максимально близким к 1,00, тем уровень динамики устойчивости исследуемого процесса будет наиболее высоким. Оценку тесноты и характеристики связи определяли по шкале Чеддока, адаптированной к задачам нашего исследования (табл. 1).

Таблица 1 – **Количественные значения коэффициентов корреляции рангов и соответствующие им характеристики изменений в динамике агропромышленного производства на уровне региона /**
Table 1 – **Quantitative values of the rank correlation coefficients and the corresponding characteristics of changes in the dynamics of agricultural production at the regional level**

Значение коэффициента K_s / The value of the coefficient K_s	*Характеристика изменения / Characteristics of the change*
Ниже -0,9 / Below -0.9	Устойчивость снижения роста весьма высокая / The stability of the decline in growth is very high
От -0,7 до - 0,9 / From -0.7 to -0.9	Устойчивость снижения роста высокая / The stability of growth decline is high
От -0,5 до -0,7 / From -0.5 to -0.7	Устойчивость снижения роста заметная / The persistence of the decline in growth is noticeable
От -0,3 до -0,5 / From -0.3 to -0.5	Устойчивость снижения роста умеренная / The persistence of growth decline is moderate
До -0,3 / Up to -0.3	Устойчивость снижения роста слабая / Sustainability of growth decline is weak
0,0 / 0,0	Устойчивая тенденция отсутствует / No consistent trend
До +3 / Up to +3	Устойчивость роста слабая / Growth sustainability is weak
От +0,3 до + 0,5 / From +0.3 to +0.5	Устойчивость роста умеренная / Growth stability is moderate
От +0,5 до + 0,7 / From + 0.5 to +0.7	Устойчивость роста заметная / Growth stability is noticeable
От + 0,7 до + 0,9 / From + 0.7 to +0.9	Устойчивость роста высокая / Growth stability is high

Источник: разработка авторов / Source: authors' development

Результаты и их обсуждение. *Устойчивое развитие в контексте Деклараций и Докладов ООН: подходы и принципы.* С точки зрения предметной сущности явления «устойчивое развитие», следует констатировать, что в опубликованных работах представлен достаточно широкий спектр научных подходов. Например, Е. А. Старикова выделяет пять аспектов изучения проблем устойчивого развития: эколого-системный; антропоцентрический; триединый; корпоративный; кластерный [19]. Однако, с нашей точки зрения, эколого-системный подход было бы точнее определить как эко-центрический, а триединый – как комплексный, выделение же корпоративного и кластерного подходов является весьма дискуссионным. Первые три из предложенных Е. А. Стариковой подходов можно найти и в работах других авторов [20]. Кроме того, в научной литературе встречаются также воспроизводственный и производственный подходы.

Эко-центрический подход к понятию «устойчивое развитие» является наиболее радикальным, так как в его рамках экономическое и социальное развитие общества в определенной степени рассматривается как угроза для устойчивости окружающей среды, а на пути перехода к устойчивому развитию социально-патологические процессы, разрушающие человеческую цивилизацию, должны замедляться или даже исчезать [20]. При изучении устойчивого развития в центр внимания ставятся биосфера, охрана природы и вопросы экологии. Ориентация направлена на обеспечение долгосрочной устойчивости биологического разнообразия, способствующего устойчивому природопользованию [21]. Под устойчивым развитием в этом случае понимается «социо-природное развитие, осуществляемое в пределах несущей емкости экосистем (главное – биосферы в целом), как безопасное развитие, обеспечивающее выживание как нынешних, так и будущих поколений людей в условиях сохранения биосферы» [22, с. 18]

Отражение эко-центрического подхода проявляется в 26 принципах развития общества, представленных в «Декларации Конференции Организации Объединенных Наций по проблемам окружающей человека среды» (1972 г.)[6]. Сформулированные принципы изложены весьма пространно, но каждый из них нацелен на охрану и рациональное использование ресурсов окружающей среды с разных позиций. Поэтому в рамках эко-центрического подхода практическое воплощение получают органическое агропромышленное производство и многие положения «зеленой повестки».

Антропоцентрический подход предполагает собой слабоустойчивое развитие при экономическом росте в условиях научно-технического прогресса, способного ослабить влияние ограниченности природных ресурсов за счет возникающей возможности их замены. Сторонники данного подхода воспринимают природу как объект, отличающийся способностью адаптации к деятельности человека. Практические действия с позиций антропоцентрического подхода реализуются через «зеленую повестку» в части технических и технологических решений, снижающих зависимость от наличия естественных природных ресурсов и вызовов окружающей среды.

Антропоцентрический подход к устойчивому развитию в большей степени отражают принципы, представленные в «Декларации по окружающей среде и развитию» (принята Конференцией ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в июне 1992 г.). Первый принцип Декларации начинается словами: «Люди находятся в центре внимания устойчивого развития. Они имеют право на здоровую и продуктивную жизнь в гармонии с природой»[7], и из 27 принципов данной Декларации 22 имеют антропоцентрическую направленность.

Триединый (комплексный) подход в наибольшей степени раскрывает предметную сущность понятия «устойчивое развитие», заложенного в серии документов ООН, и объясняемого в «Большой Российской Энциклопедии» как «тип экономического развития, который одновременно обеспечивает решение экономических и социальных задач без усугубления экологических проблем»[8], то есть развития, отражающего экономический рост, социальную справедливость и экологическую сбалансированность. Фактически все это вытекает из «Концепции устойчивого развития», предложенной в 1987 году в Докладе «Наше общее будущее» Всемирной комиссии ООН по окружающей среде и развитию, пространно изложенной в 12 пунктах[9].

[6]URL: http://www.un-documents.net/unche-dec.pdf
[7]URL: http://www.un-documents.net/unche-dec.pdf
[8]Макаров И. А. Устойчивое развитие. Большая российская энциклопедия. 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://bigenc.ru/c/ustoichivoe-razvitie-1e8c42 (дата обращения: 10.03.2025).
[9]URL: https://www.alor.org/Storage/Library/PDF/Our_Common_Future_Brundtland_Report1987.pdf

Следует отметить, что триединый (комплексный) подход также был зафиксирован в «Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию» (1996 г.), где оно определено, как развитие, «обеспечивающее сбалансированное решение социально-экономических задач и проблем сохранения благоприятной окружающей среды и природно-ресурсного потенциала в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений людей»[10]. В Основных положениях разработанного в 2002 г. проекта Стратегии устойчивого развития России (но, к сожалению, непринятой) имелось 16 принципов[11]. Таким образом, в зависимости от выбранного подхода к понятию «устойчивое развитие» формируются принципы и определяются цели устойчивого развития, которые в последующем закладываются в основу разработки таких документов, как концепция, стратегия и программа.

Практически все принципы устойчивого развития, представленные в Стокгольмской декларации 1972 г. и большинство принципов Декларации по окружающей среде и развитию 1992 г., имеют глобальный эко-центрический характер. В конечном счете, положения всех международных документов, принятых в различные годы в сфере окружающей среды и глобального развития, трансформировались в направлении комплексного (триединого) подхода. Это далее нашло практическое воплощение в целях ООН в области устойчивого развития (ЦУР ООН), которые отражены в документе «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» в ходе Саммита ООН по устойчивому развитию в Нью-Йорке 25 сентября 2015 года и официально вступили в силу с начала 2016 года[12].

Подходы к понятию устойчивого развития с позиций динамики процесса. Е. А. Асташова и А. Е. Миллер, анализируя ряд понятий термина «устойчивое развитие системы» сделали заключение, что его определение рассматривается посредством динамичного и статичного состояния в контексте внутренних и внешних ограничений [23, с. 38]. По мнению М. Е. Кадомцевой, «в научном сообществе до сих пор остается нерешенным вопрос о том, можно ли вообще говорить об устойчивости динамичной системы, если в философском понимании устойчивость представляется как неизменность, пребывание в состоянии постоянства» [8, с. 266].

Ряд исследователей проводят разграничение понятий «устойчивость» и «стабильность». Например, И. П. Воробьева считает, что состояние системы, при котором возможно «противостояние агрессивным воздействиям как внешней, так и внутренней среды» отражает «устойчивость», а «сохранение ее признаков и параметров в любых ситуациях» – «стабильность» [24, с. 18]. В свою очередь М. Е. Кадомцева утверждает, что «понятие «устойчивость» рассматривается в различных областях знания и не находит единого толкования в отечественной и зарубежной научной литературе, потому как устойчивость – это категория относительная» [8, с. 264].

На наш взгляд, многообразие определений понятия «устойчивое развитие» связано с тем, что его сущность трактуется исследователями с позиций разных научных подходов. Для выяснения имеющихся противоречий обратимся к дефиниции «устойчивость системы», в отношении которой в энциклопедических изданиях находим два определения. В одном случае «устойчивость» понимается как «свойство системы возвращаться к исходному состоянию после прекращения воздействия, которое вывело ее из этого состояния»[13], а во втором – как «способность динамической системы сохранять движение по намеченной траектории (поддерживать намеченный режим функционирования), несмотря на воздействующие на нее возмущения»[14].

[10]Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 апреля 1996 года N 440. [Электронный ресурс].
URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/9120 (дата обращения: 27.03.2025).
[11]Основные положения стратегии устойчивого развития России. Под ред. А. М. Шелехова. М., 2002. 161 с.
URL: https://www.socionauki.ru/almanac/noo21v/number_2/5_4.pdf
[12]Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Декларация Генеральной Ассамблеи ООН от 25 сентября 2015 года. [Электронный ресурс].
URL: https://docs.cntd.ru/document/420355765 (дата обращения: 27.03.2025).
[13]Энциклопедия социологии. 2009. [Электронный ресурс].
URL: http://sociology.niv.ru/doc/encyclopedia/socio/fc/slovar-211.htm#zag-4383 (дата обращения: 27.03.2025).
[14]Экономико-математический словарь (Лопатников). 2003. [Электронный ресурс].
URL: http://economics.niv.ru/doc/dictionary/economic-mathematical/fc/slovar-211.htm#zag-4041 (дата обращения: 27.03.2025).

Как следует из данных определений, в первом случае речь идет об устойчивости системы в статическом состоянии, а во втором – об устойчивости динамики ее движения (изменений). То есть, «состояние системы считается устойчивым, если при небольших отклонениях она может продолжить движение по прежней траектории, и неустойчивым, если отклонения от прежнего состояния нарастают с течением времени» [25, с. 21]. Более того, сущность понятия «устойчивость» как постоянство состояния системы или постоянство последовательности некоторых состояний ее во времени в процессе системных преобразований, является важной чертой динамической системы [26, 27].

Таким образом, можно констатировать наличие двух представлений об устойчивости системы: статического и динамического. В то же время, такое противопоставление понятий относительно агропромышленного производства вряд ли уместно, поскольку для обеспечения его устойчивого развития необходимо, чтобы производственные процессы в нем были стабильны, то есть «хозяйственная деятельность осуществлялась с минимальной колеблемостью в случае изменения внешних и внутренних условий производства» [15, с. 7]. Вместе с тем, устойчивое экономическое развитие может быть достигнуто лишь «при сохранении определенных воспроизводственных пропорций, обеспечивающих динамическое развитие в заданном направлении за определенный период времени» [28, с. 165], а это значит, что сама динамика процесса должна быть устойчивой.

Устойчивое развитие агропромышленного производства: цели, индикаторы и показатели. Россия присоединилась к реализации ЦУР ООН, и Росстат ведет мониторинг их достижения[15]. Однако подходы, принципы и цели устойчивого развития, сформулированные для глобального уровня, для агропромышленного производства на региональном уровне должны быть не только учтены, но и адаптированы, и конкретизированы.

Вопросы взаимосвязи с сельскохозяйственным производством целей ООН в области устойчивого развития, имеющих глобальный цивилизационный характер, освещались в ряде публикаций. О. А. Чередниченко, Н. А. Довготько и Н. Н. Яшалова, рассматривая данный вопрос, к числу актуальных для агропродовольственного сектора отнесли ЦУР: 2, 8, 12, 14 и 15 [7, с. 101]. По результатам своего исследования М. Е. Кадомцева обращает внимание на ЦУР: 2-4, 9-10, 12 и 14-15 [9, с. 153-154].

По нашему мнению, из 17 целей ООН в области устойчивого развития, в реализацию которых вносят непосредственно свой вклад сельские территории, и, в частности, агропромышленное производство, можно отнести шесть (табл. 2). Сравнивая наши предложения по целям ООН в области устойчивого развития, наиболее актуальные для агропромышленного производства с рассмотренными [7, 9] видим, что только цели 2, 12 и 15 являются общими для всех трех случаев. Вместе с тем, цель 11 – «Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов» в указанных двух статьях не отнесена к числу значимых для агропромышленного производства несмотря на то, что устойчивость сельских населенных пунктов является важнейшей проблемой в развитии сельских территорий. Цель 8 – «Содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех» – эта ключевая проблема развития самого агропромышленного производства региона и весьма необходимая для реализации «Повестки дня» в целом не упоминается М. Е. Кадомцевой как значимая для агропромышленного сектора. При этом не совсем понятна логика включения целей 3-4 и 14 в рассматриваемый список для агропромышленного производства.

Следует отметить, что внесение вклада в устойчивое развитие российского и мирового сообщества неидентично понятию устойчивости самого агропромышленного производства, так как оно существенно шире, чем представлено в целях ООН в области устойчивого развития. На наш взгляд, под устойчивым развитием агропромышленного производства региона необходимо понимать его расширенное воспроизводство на основе инновационного типа, при стабильном функционировании производственных процессов, сохранении позитивной динамики во временном разрезе, и направленное на реализацию соответствующих целей ООН

[15]Цели устойчивого развития в Российской Федерации. 2024: Крат. стат. сб. М.: Росстат, 2024. 105 с. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/RUS_SDG_in_Russia_2024.pdf

для решения современных глобальных проблем человечества. При этом для обеспечения расширенного воспроизводства необходимо, чтобы развитие агропромышленного производства было экономически эффективным, а основные факторы производства (земля, труд, капитал) находились в необходимых пропорциях друг с другом.

Таблица 2 – **Цели ООН в области устойчивого развития, реализация которых связана с агропромышленным производством /**
Table 2 – **UN Sustainable Development Goals, the implementation of which is related to agro-industrial production**

ЦУР ООН / UN SDGs	*Содержание цели / Goal content*
Цель 2 / Goal 2	Ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания, содействие устойчивому развитию сельского хозяйства / End of hunger, achieved food security and improved nutrition, promote to sustainable agriculture.
Цель 8 / Goal 8	Содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех / Promoting sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all
Цель 10 / Goal 10	Снижение уровня неравенства внутри стран и между ними / Reducing inequality within and between countries.
Цель 11 / Goal 11	Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов (в части сельских населенных пунктов) / Ensuring openness, safety, resilience and environmental sustainability of cities and towns (including rural areas).
Цель 12 / Goal 12	Обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства / Ensuring the transition to rational models of consumption and production.
Цель 15 / Goal 15	Защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биоразнообразия / Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably managed forests, combat with desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss.

Источник: составлено авторами по данным ЦУР ООН /
Source: compiled by the authors according to the UN SDGs

С учетом необходимости реализации ЦУР ООН и задач по устойчивому функционированию непосредственно самого агропромышленного производства, можно предложить следующую совокупность принципов, направленных на обеспечение устойчивости его динамики:

- поступательность – непрерывность технического, технологического и организационного совершенствования производства, обеспечивающая процесс расширенного воспроизводства;

- экономичность – способность обеспечить экономический рост при последовательном снижении расходов ограниченных ресурсов в расчете на единицу продукции;

- сбалансированность – пропорциональное развитие основных факторов производства (труда, земли, капитала), обеспечение соответствия предложения продукции объемам спроса на нее;

- результативность – способность достигать желаемые результаты, цели и решать поставленные задачи в сфере продовольственной безопасности страны;

- экологичность – развитие агропромышленного производства без отрицательного влияния на окружающую природную среду;

- социальная ориентированность – направленность развития организационно-экономического механизма устойчивого развития агропромышленного производства на повышение качества и уровня жизни сельского населения, его занятости и доходов.

Перечень отобранных выше глобальных целей устойчивого развития ООН, связанных с сельскими территориями, и изложенные принципы, позволяют предложить следующие цели устойчивого развития для регионального агропромышленного производства (ЦУР АПП) (табл. 3).

Совокупность предложенных целей устойчивого развития агропромышленного производства позволяет решить две взаимосвязанные задачи:

1. Повышать вклад агропромышленного производства в реализацию шести целей устойчивого развития ООН.

2. Обеспечивать устойчивое развитие самого агропромышленного производства на уровне регионов. Исходя из названных целей устойчивого развития, на уровне регионального агропромышленного производства может быть принята следующая система индикаторов (табл. 4).

Таблица 3 – **Цели устойчивого развития агропромышленного производства, скоординированные с ЦУР ООН /**
Table 3 – **Sustainable Development Goals for Agribusiness, aligned with the UN SDGs**

ЦУР ООН / UN SDGs	*Цели в сфере устойчивого развития АПП на уровне региона / Sustainable Development Goals for the APP at the Regional Level*
Цель 2 / Goal 2	1. Обеспечить устойчивое расширенное воспроизводство агропромышленного производства / Ensure sustainable expanded reproduction of agro-industrial production. 2. Обеспечить устойчивый вклад региона в продовольственную безопасность страны с учетом его ресурсного потенциала / Ensure the region's sustainable contribution to the country's food security, taking into account its resource potential.
Цель 8 / Goal 8	3. Обеспечить устойчивый экономический рост в долгосрочной перспективе / Ensure sustainable economic growth in the long term. 4. Обеспечить устойчивое сбалансированное воспроизводство факторов производства / Ensure sustainable balanced reproduction of production factors. 5. Обеспечить устойчивый рост качества и уровня жизни сельского населения, его занятости и доходов / Ensure sustainable growth in the quality and standard of living of the rural population, its employment and income.
Цель 10 / Goal 10	6. Обеспечить снижение внутрирегионального неравенства в развитии агропромышленного производства и сельских территорий / Ensure a reduction in intra-regional inequality in the development of agricultural production and rural areas.
Цель 11 / Goal 11	7. Обеспечить жизнестойкость, социальную и экологическую устойчивость сельских населенных пунктов / Ensure the viability, social and environmental sustainability of rural communities.
Цель 12 / Goal 12	8. Обеспечить устойчивый темп роста перехода к органическому сельскому хозяйству и производства органических продуктов / Ensure a sustainable rate of growth in the transition to organic agriculture and organic food production.
Цель 15 / Goal 15	9. Обеспечить в процессе аграрного производства охрану окружающей среды, восстановление экосистем и рациональное (в том числе зеленое) природопользование / Ensure environmental protection, ecosystem restoration and rational (including green) use of natural resources in the process of agricultural production.

Источник: разработка авторов / Source: authors' development

Таблица 4 – **Индикаторы реализации целей устойчивого развития агропромышленного производства (ЦУР АПП), скоординированных с ЦУР ООН /**
Table 4 **– Indicators for the implementation of the Sustainable Development Goals for agro-industrial production (SDGs APP), coordinated with the UN SDGs**

ЦУР ООН / UN SDGs	*ЦУР АПП / SDG APP*	*Индикаторы / Indicators*
1	2	3
Цель 2 / Goal 2	1	Индексы физического объема валовой добавленной стоимости (ВДС) в сельском, лесном хозяйстве, охоте, % к предыдущему году / Indices of physical volume of gross value added (GVA) in agriculture, forestry, hunting, % to the previous year
	2	Индексы самообеспеченности регионов продуктами продовольствия, % / Indices of self-sufficiency of regions in food products, %.
Цель 8 / Goal 8	3	Индексы производства продукции сельского хозяйства в сопоставимых ценах в % к предыдущему году / Agricultural production indices in comparable prices as % of the previous year
	4	Темпы роста инвестиций в основной капитал, % коэффициенты обновления и прироста основных фондов, % / Growth rates of investments in fixed capital, % coefficients of renewal and growth of fixed assets, %
		Темпы сокращения потребности в рабочей силе, % / Rate of reduction in labor demand, %
		Темпы ввода в оборот земель сельскохозяйственного назначения, % / Rate of putting agricultural land into circulation, %
	5	Темпы снижения численности малоимущего сельского населения, % / Rate of decline in the number of low-income rural population, %
Цель 10 / Goal 10	6	Индексы региональных различий (индексы Джини, Херфиндаля-Хиршмана) / Regional difference indices (Gini, Herfindahl-Hirschman indices)

Продолжение табл. 5

1	2	3
Цель 11 / Goal 11	7	Коэффициенты естественного прироста сельского населения, ‰ / Rates of natural increase of rural population, ‰
		Коэффициенты миграционного прироста сельского населения, ‰ / Rural population migration growth rates, ‰
		Индексы динамики средней людности сельских поселений, % / Indices of dynamics of average population of rural settlements, %
Цель 12 / Goal 12	8	Индексы роста объемов производства органических продуктов, % / Growth indices of organic production volumes, %
Цель 15 / Goal 15	9	Индексы темпов перехода к низкоуглеродной экономики, точному и цифровому земледелию и животноводству, экономике замкнутого цикла, биоэкономике, % / Indices of the rate of transition to a low-carbon economy, precision and digital agriculture and livestock farming, a circular economy, a bioeconomy, %

Источник: разработка авторов / Source: authors' development

По каждому индикатору целесообразно рассчитывать комплекс показателей, среди которых важнейшими являются коэффициенты устойчивости динамики процесса. На основе предложенного перечня индикаторов и коэффициентов изменения динамики процессов в агропромышленном производстве Северо-Запада можно определить его место в системе координат устойчивого развития экономики регионов.

Апробация (наложение) индикаторов устойчивости агропромышленного производства применительно к ситуации в Северо-Западном федеральном округе. В рамках одной статьи невозможно рассмотреть тенденции в изменении устойчивости агропромышленного производства по всем индикаторам его развития, поэтому остановимся на трех, наиболее важных из них.Прежде всего, с помощью коэффициентов устойчивости динамики «индексов физического объема валовой добавленной стоимости (ВДС)» и «индексов темпов роста производства продукции сельского хозяйства в сопоставимых ценах» выясним ситуацию в Северо-Западном федеральном округе (табл. 5).

Таблица 5 – **Показатели устойчивости динамики физического объема ВДС в сфере АПП и производства продукции сельского хозяйства СЗФО (в хозяйствах всех категорий), в сопоставимых ценах* /**
Table 5 – **Indicators of the sustainability of the dynamics of the physical volume of GVA in the sphere of agricultural production and agricultural production in the Northwestern Federal District (in farms of all categories), in comparable prices**

Годы / Years	K_s	*Интерпретация / Interpretation*
1. Коэффициенты устойчивости динамики физического объема ВДС в сфере АПП / Stability coefficients of the dynamics of the physical volume of GVA in the sphere of industrial production		
2005–2013 гг.	0,12	Устойчивость роста слабая / Growth sustainability is weak
2014–2023 гг.	-0,62	Устойчивость снижения роста заметная / The persistence of the decline in growth is noticeable
2. Коэффициенты устойчивости динамики производства продукции сельского хозяйства / Coefficients of stability of the dynamics of agricultural production		
2001–2006 гг.	-0,60	Устойчивость снижения роста заметная / The persistence of the decline in growth is noticeable
2007–2012 гг.	0,49	Устойчивость роста умеренная / Growth stability is moderate
2013–2018 гг.	0,26	Устойчивость роста слабая / Growth sustainability is weak
2019–2024 гг.	0,07	Устойчивость роста слабая / Growth sustainability is weak

* 2005–2013 гг. – по группе отраслей «Сельское хозяйство, охота, лесное хозяйство»; 2014–2023 гг. – по группе отраслей «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» Источник: расчеты авторов по данным Росстата. URL: https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts /

* 2005–2013 – for the group of industries "Agriculture, hunting, forestry"; 2014–2023 – for the group of industries "Agriculture, forestry, hunting, fishing and fish farming" Source: authors' calculations based on Rosstat data.
URL: https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts

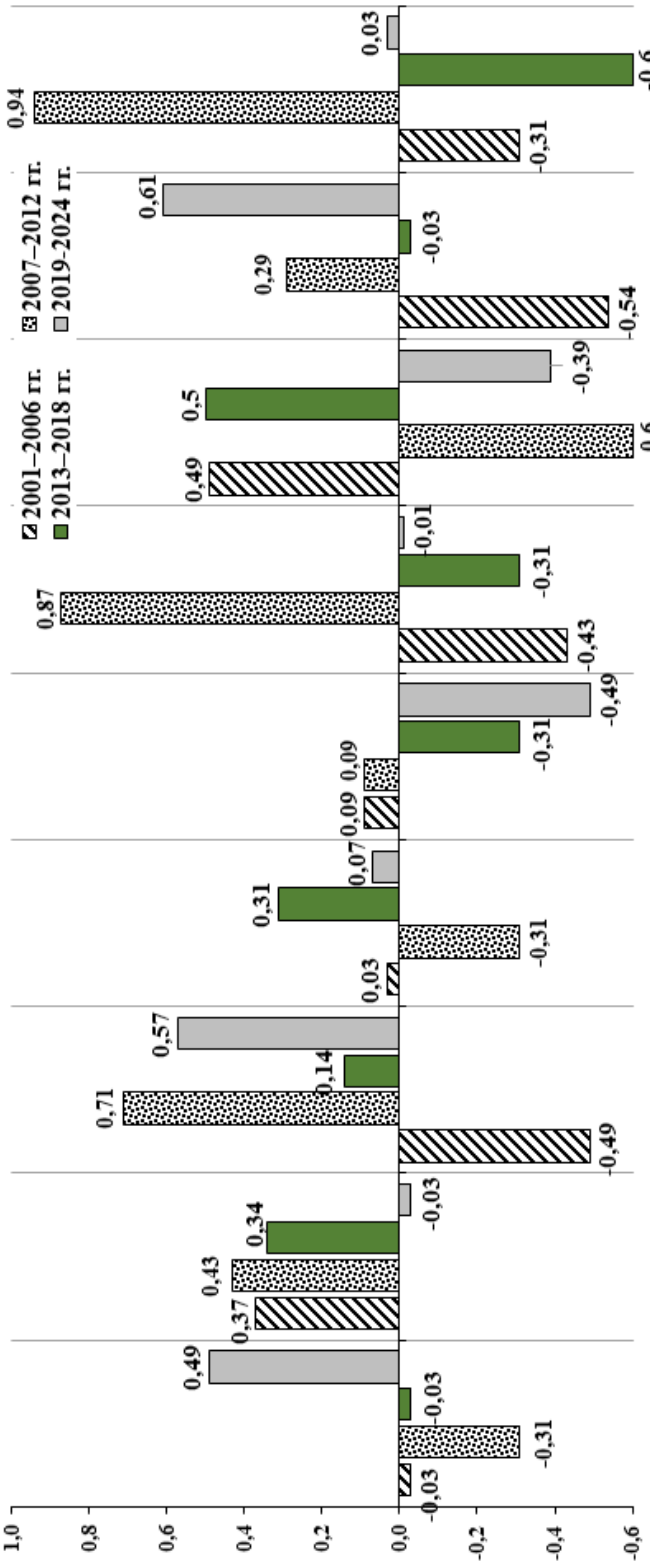


Рис. **Показатели динамики устойчивости темпов роста производства продукции сельского хозяйства в сопоставимых ценах (хозяйства всех категорий) /**
Fig. **Indicators of the dynamics of sustainability of growth rates of agricultural production in comparable prices (farms of all categories)**
Источник: расчеты авторов по данным Приложения к сборнику «Регионы России. Социально-экономические показатели». URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/47652/
Source: the authors' calculations based on the Appendix to the collection "Regions of Russia. Socio-economic indicators". URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/47652/

Как следует из данных таблицы 5, показатели устойчивости динамики как физического объема ВДС, так и устойчивости динамики темпов роста производства продукции сельского хозяйства, в Северо-Западном Федеральном округе ухудшаются. Коэффициенты указывают на снижение при слабом уровне устойчивости динамики темпов его роста после 2012 года. В территориальном аспекте динамика устойчивости темпов роста производства продукции сельского хозяйства во всех регионах (кроме Республики Карелия) сильно колеблется от периода к периоду, переходя от отрицательных величин к положительным и наоборот (рис.).

При этом следует учитывать, что высокий показатель динамики устойчивости темпов роста абсолютно не связан с натуральными показателями объемов производства и, более того, проявляется закономерность – в наибольшей степени его величина колеблется в регионах с развитым сельскохозяйственным производством (Калининградская и Ленинградская области), где велика доля в нем свиноводства и птицеводства, уже достигшего пределов роста. Это в полной мере относится и к Псковской области, где главная отрасль сельского хозяйства свиноводство. Коэффициенты устойчивости динамики индексов самообеспеченности региона продуктами продовольствия также указывают на значительные колебания данного показателя от периода к периоду (табл. 6).

Таблица 6 – **Показатели устойчивости динамики самообеспеченности Северо-Западного федерального округа основными сельскохозяйственными продуктами в 2007–2023 гг. /**
Table 6 – **Indicators of sustainability of the dynamics of self-sufficiency of the Northwestern Federal District in basic agricultural products in 2007–2023**

Виды продуктов / Types of products	*2007–2012 гг.*		*2013–2018 гг.*		*2019–2023 гг.*	
	K_s	*Интерпретация / Interpretation*	K_s	*Интерпретация / Interpretation*	K_s	*Интерпретация / Interpretation*
Картофель / Potato	0,54	Устойчивость роста заметная / The growth stability is noticeable	-0,60	Устойчивость снижения роста заметная / The stability of the decline in growth is noticeable	0,70	Устойчивость роста заметная / The growth stability is noticeable
Овощи / Vegetables	-0,36	Устойчивость снижения роста умеренная / The persistence of growth decline is moderate.	-0,77	Устойчивость снижения роста высокая / The stability of the decline in growth is high	-0,70	Устойчивость снижения роста заметная / The stability of the decline in growth is noticeable
Молоко и молокопродукты / Milk and dairy products	-0,94	Устойчивость снижения роста весьма высокая / The sustainability of the decline in growth is very high	1,00	Устойчивость роста весьма высокая / The growth stability is very high	0,98	Устойчивость роста весьма высокая / The growth stability is very high
Мясо и мясопродукты / Meat and meat products	1,00	Устойчивость роста весьма высокая / The growth stability is very high	1,00	Устойчивость роста весьма высокая / The growth stability is very high	-0,70	Устойчивость снижения роста заметная / The stability of the decline in growth is noticeable
Яйцо и яйцепродукты / Egg and egg products	0,94	Устойчивость роста весьма высокая / The growth stability is very high	-0,54	Устойчивость снижения роста заметная / The stability of the decline in growth is noticeable	0,68	Устойчивость роста заметная / The growth stability is noticeable

Источник: Расчеты авторов по данным «Балансов продовольственных ресурсов Росстата».
URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy/
Source: The authors' calculations based on the data of the Rosstat Food Resource Balances.
URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy/

Вместе с тем в последний период (2019–2023 гг.) по картофелю, яйцу и яйцепродуктам отмечается заметная устойчивость роста самообеспеченности, молоку и молокопродуктам – весьма высокая. По мясу и мясопродуктам в первый и второй периоды устойчивость роста самообеспеченности была весьма высокой, фактически максимально возможной, а в 2019–2023 гг. темпы роста ее монотонно снижались и ситуацию можно определить, как заметное снижение устойчивости роста. В большей степени показатели самообеспеченности были неустойчивы по овощам: от умеренного (2007–2012 гг.) до высокого (2013–2018 гг.) и заметного (2019–2023 гг.) снижения роста устойчивости. Аналогичным образом можно определить степень устойчивости динамики показателей по всем индикаторам, отражающим как вклад в реализацию целей ООН, так и непосредственное развитие агропромышленного производства региона.

Заключение. Проведенное исследование показывает возможность и необходимость синхронизации двух подходов к изучению проблемы устойчивого развития: с позиции Деклараций и Докладов ООН по окружающей среде, имеющей глобальный характер, и подхода к развитию территориально-отраслевых формирований (в данном случае агропромышленного производства на уровне района), с точки зрения динамики устойчивости процесса как антипода его колеблемости. Проти-

вопоставление данных подходов, а также их отождествление являются контрпродуктивными.

При этом динамика устойчивости на территориально-отраслевом уровне является как залогом расширенного воспроизводства агропромышленного производства региона, так и достижения им ЦУР ООН. Успех синхронизации двух подходов строится на правильно отобранных данных целях, в достижение которых агропромышленное производство вносит определенный вклад, на конкретизации этих целей для его развития и обосновании системы индикаторов. Причем траекторию движения агропромышленного производства региона, на наш взгляд, требуется отслеживать по каждому индикатору с помощью коэффициентов устойчивости и коэффициентов динамики устойчивости.

Апробация рассмотренного подхода применительно к условиям СЗФО на основе таких индикаторов как «индексы физического объема ВДС в сельском, лесном хозяйстве, охоте, % к предыдущему году», «индексы самообеспеченности регионов продуктами продовольствия, %», «индексы производства продукции сельского хозяйства в сопоставимых ценах, % к предыдущему году» показала результативность их использования для мониторинга коэффициентов устойчивости и коэффициентов динамики устойчивости. Расчеты выявили как позитивные, так и нежелательные тенденции в динамике изменений роста показателей для данных индикаторов.

Необходимо отметить, что в исследовании проблем устойчивого развития агропромышленного комплекса, как и в целом динамики устойчивости, с точки зрения аграрной экономики, до сих пор остается еще много не изученного. В перспективе следовало бы обратить внимание на вопросы устойчивого сбалансированного воспроизводства факторов производства, устойчивого роста качества и уровня жизни сельского населения, его занятости и доходов, снижения внутрирегионального неравенства в развитии агропромышленного производства и сельских территорий, обеспечения социальной и экологической устойчивости сельских населенных пунктов и систем сельского расселения в целом.

Список литературы

1. Бобылев С. Н. Устойчивое развитие: новое видение будущего? Вопросы политической экономии. 2020;(1):67–83. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.3753332 EDN: MSYSNK3

2. Бобылев С. Н., Завьялова Т. В. Устойчивое развитие: в поисках новой Экономики. Вопросы политической экономии. 2024;(3):43–51. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.13895628 EDN: DHULTB

3. Laurett R., Paço A., Mainardes E. W. Sustainable Development in Agriculture and its Antecedents, Barriers and Consequences – An Exploratory Study. Sustainable Production and Consumption. 2021;27:298–311. DOI: https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.032

4. Barbier E. The Concept of Sustainable Economic Development. Environmental Conservation. 1987;14(2):101–110. DOI: https://doi.org/10.1017/S0376892900011449

5. Буздалов И. Н. Методологические аспекты устойчивости сельского развития. Научные труды Вольного экономического общества России. 2016;197(1):262–267. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=26146526 EDN: TUYQQN

6. Ушачев И. Г., Папцов А. Г., Серков А. Ф., Маслова В. В., Чекалин В. С., Зарук Н. Ф. и др. Устойчивое развитие и повышение конкурентоспособности сельского хозяйства России в условиях углубления интеграции в ЕАЭС. Под ред. Академика И. Г. Ушачева. М.: «Научный консультант», 2018. 320 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=35404985 EDN: UWITRI

7. Чередниченко О. А., Довготько Н. А., Яшалова Н. Н. Устойчивое развитие агропродовольственного сектора: российские приоритеты и направления адаптации Повестки дня – 2030. Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2018;11(6):89–108. DOI: https://doi.org/10.15838/esc.2018.6.60.6 EDN: VQHRDD

8. Кадомцева М. Е. Концептуальные аспекты устойчивого развития экономических систем: эволюция подходов и современная парадигма. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2021;21(3):263–270. DOI: https://doi.org/10.18500/1994-2540-2021-21-3-263-270 EDN: MXYCRJ

9. Кадомцева М. Е. Система индикаторов устойчивого развития национального АПК. Проблемы прогнозирования. 2024;(1(202)):144–156. DOI: https://doi.org/10.47711/0868-6351-202-144-156 EDN: WIQNMC

10. Трухачев В. И., Джикия М. К. Оценка устойчивости развития сельскохозяйственных организаций. Экономика сельского хозяйства России. 2022;(11):19–25. DOI: https://doi.org/10.32651/2211-19 EDN: LNSRAW

11. Коваленко Е. Г., Полушкина Т. М., Якимова О. Ю., Автайкина Е. В., Зайцева О. О., Седова К. С. Модернизация механизма устойчивого развития сельских территорий: монография. М.: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2014. 166 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=23789988 EDN: UAPMXJ

12. Костяев А. И., Никонов А. Г., Никонова Г. Н., Траньков В. М., Шепелева Е. А. Концепция устойчивого развития сельских территорий Ленинградской области: проект. СПб: СЗНИЭСХ, 2010. 50 с.

13. Никонова Г. Н. Проблемы устойчивого развития сельской местности на фоне трансформационных изменений в аграрном секторе России. Устойчивое развитие сельской местности: концепции и механизмы. Никоновские чтения – 2001: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Отв. ред. А. В. Петриков. М.: Энциклопедия российских деревень, 2001. С. 8–12.

14. Ушачев И. Г. Основные направления стратегии устойчивого развития АПК России. Вестник Российской академии наук. 2017;87(12):1074–1081. DOI: https://doi.org/10.7868/S0869587317120039 EDN: ZUCLQZ

15. Белоусов В. М. Основные положения стратегии устойчивого развития агропромышленного производства. Теория и практика мировой науки. 2017;(5):7–10.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30558653 EDN: ZSSPCB

16. Abobatta F Sustainable Agricultural Development: Introduction and Overview. In: Achieving Food Security Through Sustainable Agriculture. 2024. 28 p. DOI: https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4240-4.ch001

17. AlFadhly N. K., Al-Temimi A. A., Alkanan Z. T., Altemimi A. B., Younis M. I., Giuffrè A. M., Abedelmaksoud T. G. Sustainable agriculture development for food safety and nutrition. Food systems. 2024;7(3):491–504. DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-491-504

18. Суслов С. А., Громова И. В. Методика региональной оценки экономической устойчивости сельскохозяйственного производства. Вестник НГИЭИ. 2012;5(12):100–114.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17904502 EDN: PBUXMX

19. Старикова Е. А. Современные подходы к трактовке концепции устойчивого развития. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. 2017:25(1):7–17.
DOI: https://doi.org/10.22363/2313-2329-2017-25-1-7-17 EDN: ZEJOIT

20. Авезов А. Х. Современные концепции устойчивого развития региона и методические подходы к оценке ее уровня. Вестник ПИТТУ имени академика М. С. Осими. 2020:1(14):104–120.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46380580 EDN: RTLGUY

21. Татаркин А., Игнатьева М. Геоэкосоциоэкономическая модель системного освоения природных ресурсов. Проблемы теории и практики управления. 2015;(9):8–16.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24258981 EDN: UKWIRH

22. Урсул А. Д. Глобальные процессы, безопасность и устойчивое развитие. Век глобализации. 2008;(1):17–22. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15142805 EDN: MTJPZT

23. Асташова Е. А., Миллер А. Е. Методический подход к оценке устойчивого развития предприятий АПК. АПК: экономика, управление. 2023;(5):36–45. DOI: https://doi.org/10.33305/235-36 EDN: JDULKT

24. Воробьева И. П. Устойчивость экономики и проблемы ее обеспечения в современной России. Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2012;1(17):17–25.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17690478 EDN: OXDDLZ

25. Афонасова М. А. К вопросу об устойчивости экономических систем в условиях неопределенности внешней среды. Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020;(2):20–27.
DOI: https://doi.org/10.17513/vaael.994 EDN: UZQFZT

26. Гатаулин А. М. Система прикладных статистико-математических методов обработки экспериментальных данных в сельском хозяйстве. М.: МСХА, 1992. Ч. 1. 159 с.
Режим доступа: https://search.rsl.ru/ru/record/01001659700

27. Лапаева М. Г., Масленникова А. Ю. Трансформация экономических систем: теория и закономерности. Вестник Оренбургского государственного университета. 2014;(8(169)):228–233.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22252025 EDN: SSYLZD

28. Лихачева Т. П. Анализ подходов к оценке и управлению устойчивым развитием территорий региона. Евразийский Союз Ученых. 2015;(3-2(12)):163–166. Режим доступа: https://elibrary.ru/xdstav EDN: XDSTAV

References

1. Bobylev S. N. Sustainable development: a new vision of the future? *Voprosy politicheskoy ekonomii* = Problems in Political Economy. 2020;(1):67–83. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.3753332

2. Bobylev S. N., Zavyalova T. V. Sustainable development: searching for a new economy. *Voprosy politicheskoy ekonomii* = Problems in Political Economy. 2024;(3):43–51. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.13895628

3. Laurett R., Paço A., Mainardes E. W. Sustainable Development in Agriculture and its Antecedents, Barriers and Consequences – An Exploratory Study. Sustainable Production and Consumption. 2021;27:298–311. DOI: https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.032

4. Barbier E. The Concept of Sustainable Economic Development. Environmental Conservation. 1987;14(2):101–110. DOI: https://doi.org/10.1017/S0376892990001144 9

5. Buzdalov I. N. Methodological aspects of stability of rural development. *Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii* = Scientific Works of the Free Economic Society of Russia. 2016;197(1):262–267. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=26146526

6. Ushachev I. G., Paptsov A. G., Serkov A. F., Maslova V. V., Chekalin V. S., Zaruk N. F. et al. Sustainable development and increasing the competitiveness of Russian agriculture in the context of deepening integration into the EAEU. *Pod red. akademika I. G. Ushacheva*. Moscow: *«Nauchnyy konsul'tant»*, 2018. 320 p. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=35404985

7. Cherednichenko O. A., Dovgot'ko N. A., Yashalova N. N. Sustainable development of the agri-food sector: Russia's priorities and directions to adapt agenda 2030 to Russian conditions. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz* = Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast. 2018;11(6):89–108. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15838/esc.2018.6.60.6

8. Kadomtseva M. E. Conceptual aspects of sustainable development of economic systems: Evolution of approaches and modern paradigm. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo* = Izvestiya of Saratov University. Economics. Management. Law. 2021;21(3):263–270. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18500/1994-2540-2021-21-3-263-270

9. Kadomtseva M. E. System of indicators for sustainable development of the national agro-industrial complex. *Problemy prognozirovaniya*. 2024;(1(202)):144–156. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47711/0868-6351-202-144-156

10. Trukhachev V. I., Dzhikiya M. K. Assessment of the sustainability of the agricultural organization's development. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* = Economics of Agriculture of Russia. 2022;(11):19–25. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32651/2211-19

11. Kovalenko E. G., Polushkina T. M., Yakimova O. Yu., Avtaykina E. V., Zaytseva O. O., Sedova K. S. Modernization of the mechanism of sustainable rural development: a monograph. Moscow: *Izdatel'skiy Dom «Akademiya Estestvoznaniya»*, 2014. 166 p. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=23789988

12. Kostyaev A. I., Nikonov A. G., Nikonova G. N., Tran'kov V. M., Shepeleva E. A. The concept of sustainable rural development in the Leningrad region: a project. Saint-Petersburg: *SZNIESKh*, 2010. 50 p.

13. Nikonova G. N. The problems of sustainable rural development against the background of transformational changes in the Russian agricultural sector. Sustainable rural development: concepts and mechanisms. Nikon Readings – 2001: International papers. scientific-practical conference. *Otv. red. A. V. Petrikov*. Moscow: *Entsiklopediya rossiyskikh dereven'*, 2001. pp. 8–12.

14. Ushachev I. G. The main directions of the strategy of sustainable development of the Russian agro-industrial complex. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* = Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017;87(12):1074–1081. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.7868/S0869587317120039

15. Belousov V. M. The main provisions of the strategy of sustainable development of agro-industrial production. *Teoriya i praktika mirovoy nauki* = Theory and Practice of the World Science. 2017;(5):7–10. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30558653

16. Abobatta F Sustainable Agricultural Development: Introduction and Overview. In: Achieving Food Security Through Sustainable Agriculture. 2024. 28 p. DOI: https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4240-4.ch001

17. AlFadhly N. K., Al-Temimi A. A., Alkanan Z. T., Altemimi A. B., Younis M. I., Giuffrè A. M., Abedelmaksoud T. G. Sustainable agriculture development for food safety and nutrition. Food systems. 2024;7(3):491–504. DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-491-504

18. Suslov S. A., Gromova I. V. Procedure of the regional assessment of economic stability of agricultural manufactures. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2012;5(12):100–114. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17904502

19. Starikova E. A. The contemporary approaches to interpretation of the sustainable development concept. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekonomika* = RUDN Journal of Economics. 2017:25(1):7–17. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.22363/2313-2329-2017-25-1-7-17

20. Avezov A. Kh. Modern concepts of sustainable evelopment of the region and methodological approaches to assessment of its level. *Vestnik PITTU imeni akademika M. S. Osimi* = Bulletin of the polytechnical institute of the Tajik technical university named after academician M. S. Osimi. 2020:1(14):104–120. (In Tajik.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46380580

21. Tatarkin A., Ignatieva M. Geoecosocioeconomic model for system exploration of natural resources. *Problemy teorii i praktiki upravleniya*. 2015;(9):8–16. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=24258981

22. Ursul A. D. Global processes, security and sustainable development. *Vek globalizatsii*. 2008;(1):17–22. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15142805

23. Astashova E. A., Miller A. E. Methodological approach to assessing the sustainable development of agricultural enterprises. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2023;(5):36–45. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33305/235-36

24. Vorobyeva I. P. Stability of economy and problem of its maintenance in modern Russia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika* = Tomsk State University Journal of Economics. 2012;1(17):17–25. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17690478

25. Afonasova M. A. On the issue of stability of economic systems in the conditions of uncertainty of the external environment. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava*. 2020;(2):20–27. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.17513/vaael.994

26. Gataulin A. M. A system of applied statistical and mathematical methods for processing experimental data in agriculture. Moscow: *MSKhA*, 1992. Part. 1. 159 p. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001659700

27. Lapaeva M. G., Maslennikova A. Yu. Transformation of economic systems: theory and patterns. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* = Vestnik of the Orenburg State University. 2014;(8(169)):228–233. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22252025

28. Likhacheva T. P. Analysis of approaches to assessment and management of sustainable development of the region's territories. *Evraziyskiy Soyuz Uchenykh* = Eurasian Union of Scientists. 2015;(3-2(12)):163–166. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/xdstav

Сведения об авторах

✉ **Костяев Александр Иванович**, доктор экон. наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник Института аграрной экономики и развития сельских территорий, ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», ш. Подбельского, д. 7, г. Санкт- Петербург, Пушкин, Российская Федерация, 196608, e-mail: szniesh@gmail.com,
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4041-6935, e-mail: galekos@yandex.ru

Никонова Галина Николаевна, доктор экон. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Института аграрной экономики и развития сельских территорий, ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», ш. Подбельского, д. 7, г. Санкт-Петербург, Пушкин, Российская Федерация, 196608, e-mail: szniesh@gmail.com,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7605-0237

Information about the authors

✉**Alexander I. Kostyaev**, DSc in Economics, professor, academician of RAS, chief researcher, Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Highway Podbelskogo, 7, St. Petersburg, Russian Federation, 196608, e-mail: szniesh@gmail.com,
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4041-6935, e-mail: galekos@yandex.ru

Galina N. Nikonova, DSc in Economics, professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Highway Podbelskogo, 7, St. Petersburg, Russian Federation, 196608,
e-mail: szniesh@gmail.com, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7605-0237**

✉ – Для контактов / Corresponding author

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

ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока – 130 лет!





ISSN 2072-9081 (print) Аграрная наука Евро-Северо-Востока, Том 26, № 3, 2025.
ISSN 2500-1396 (online) Agricultural Science Euro-North-East, Vol. 26, no. 3, 2025.