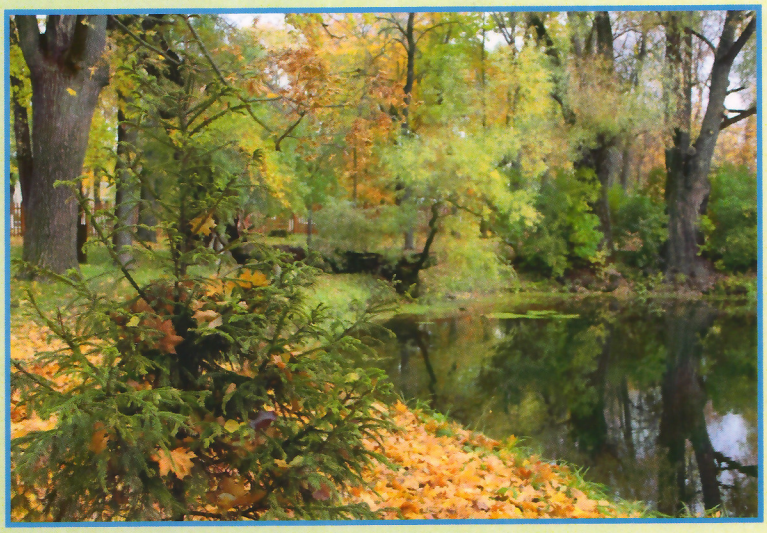
ISSN 2072-9081 (print)
ISSN 2500-1396 (online)

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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







Том 25
№ 5
2024

Vol. 25
No. 5
2024

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Научный журнал основан в 2000 г. **Том 25, № 5, 2024**

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,
Агалакова Татьяна Владимировна – к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории ветеринарной иммунологии, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Редакционный совет

Андреев Николай Руфеевич	д.т.н., чл.-корр. РАН, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», г. Москва, Россия
Багиров Вугар Алиевич	д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Минобрнауки России, г. Москва, Россия
Баталова Галина Аркадьевна	д.с.-х.н., профессор, академик РАН, зам. директора по селекционной работе, зав. отделом овса ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия
Гурьянов Александр Михайлович	д.с.-х.н., профессор, 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, 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

Подписано к печати 28.10.2024
Дата выхода в свет 07.11.2024
Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 26,74.
Тираж 100 экз. Заказ 29.
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, 2024;25(5)
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,
Tatyana V. Agalakova, Cand. of Sci. (Biology), senior researcher at the laboratory veterinary immunology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Editorial council

Nikolay R. Andreev	Dr. of Sci. (Engineering), corresponding member of RAS, Academic advisor of the All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow, Russia
Vugar A. Bagirov	Dr. of Sci. (Biology), professor, corresponding member of RAS, Director of the Department of Coordination of Organizations in the Field of Agricultural Sciences of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, Russia
Galina A. Batalova	Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the deputy Director on selection work, the head of Department of oats of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russia
Alexander M. Guryanov	Dr. of Sci. (Agricultural), professor, 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, 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

Passed for printing
28.10.2024
Date of publication
07.11.2024
Format 60x84$^{1/8}$. Offset paper.
Cond. pecs. l. 26.74.
Circulation 100 copies. Order 29.
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

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

Е. Г. Раевская
Применение искусственного интеллекта в сельском хозяйстве Китая (обзор)…….. 739

Л. Н. Пак, Д. А. Иванов, М. В. Рублюк
Многолетние травы семейства Бобовые (*Fabaceaes* L.) – как основная база развития кормопроизводства Нечерноземья (обзор)……. 754

Е. В. Туаева
Витамин Е в кормлении молочного скота (обзор)……. 770

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

И. Н. Щенникова, Л. П. Кокина, И. Ю. Зайцева, Л. В. Панихина
Адаптивность и урожайность нового сорта ярового ячменя Ярушник…… 785

В. Г. Зайнуллин, А. А. Пожирицкая, А. М. Турлакова, А. В. Партала, О. В. Овчинников, Е В. Бондарчук, И. Ф. Турканов, Е. А. Галкина, В. Г. Грязнов
Влияние предпосадочной обработки слабыми неионизирующими импульсными полями на продуктивность и качество урожая сортов картофеля…….. 794

Т. А. Рожмина, И. А. Андреева
Влияние гербицида Магнум на продуктивность и качество современных сортов льна-долгунца…….. 805

Н. А. Зайцева, С. В. Зайцев
Изучение гибридов F_1 *Carthamus tinctorius* L. в условиях Северного Прикаспия…….. 818

И. Ю. Иванова, А. А. Фадеев, С. В. Ильина
Сравнительная оценка раннеспелых сортов и сортообразцов сои в условиях северного Поволжья…… 831

Т. Я. Прахова, А. Л. Исакова
Агроэкологическая оценка нигеллы в условиях лесостепи Среднего Поволжья…… 839

Е. Ю. Невоструева, Л. В. Багмет
Номенклатурные стандарты сортов земляники селекции Свердловской селекционной станции садоводства….. 846

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ

И. Г. Широких, С. Э. Мокрушина, Р. И. Абубакирова
Бактеризация микрорастений картофеля *in vitro* ризобактерией *Streptomyces* повышает эффективность культивирования…… 855

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

А. В. Леднев, А. В. Ложкин, И. М. Кудрявцев
Изменение свойств агросерых лесных почв Удмуртской Республики в результате их длительного использования в сельскохозяйственном производстве…….. 865

И. А. Белозерцева, Д. Н. Лопатина
Использование и оценка современного состояния почв наиболее плодородных земель юго-восточного Предбайкалья……. 877

ЗООТЕХНИЯ

С. В. Титова
Сравнительная оценка коров разной линейной принадлежности по их продуктивности и воспроизводительным качествам……. 889

А. А. Курочкин, Т. И. Кузьмина, А. О. Притужалова
Содержание внДНК в семенной плазме петухов как потенциальный биомаркер жизнеспособности сперматозоидов.. 899

Е. С. Федорова, Н. В. Дементьева, О. И. Станишевская, А. Е. Рябова
Взаимосвязь распределения пробегов гомозиготности в геноме русских белоснежных кур с продуктивными и адаптивными признаками в зависимости от направленности селекционной работы в породе……. 906

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

А. О. Притужалова, Т. И. Кузьмина, Т. Г. Хонина, У. С. Никулина
Биотестирование тетраполиэтиленгликолята титана в 10-мольном избытке на культуре клеток гранулезы свиней.. 920

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин, В. Ю. Мокиев
Определение оптимальных конструктивно-технологических параметров работы клеверотерки-скарификатора КС-0,3П в режиме вытирания…….. 930

Е. А. Никитин, В. В. Кирсанов, Г. Н. Самарин, В. Ю. Сидорова, Р. А. Мамедова, И. В. Князева, А. В. Титенков
Совершенствование технологии раздачи корма на молочно-товарных фермах для крупного рогатого скота…… 938

А. И. Кутырёв
Сверточная нейронная сеть для сегментации цветков яблони на изображениях…… 949

ХРОНИКА. Юбилей Отари Назировича Дидманидзе…… 962

CONTENTS

REVIEWS

Elena G. Raevskaya
Introducing artificial intelligence in Chinese agriculture (review)……. 739

Larisa N. Pak Пак, Dmitriy A. Ivanov, Maria V. Rublyuk
Perennial grasses of the legume family (*Fabaceaes* L.) – as the main basis for the development of fodder production in the Non-Black Earth Region (review)…….. 754

Evgeniya V. Tuaeva
Vitamin E in dairy cattle feeding (review)…… 770

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

Irina N. Schennikova, Larisa P. Kokina, Irina Yu. Zaytseva, Liubov V. Panikhina
Adaptability and yield of a new cultivar of spring barley Yarushnik…….. 785

Vladimir G. Zainullin, Aleksandra N. Pozhirickaya, Antonina M. Turlakova, Alexander V. Partala, Oleg V. Ovchinnikov, Elena V. Bondarchuk, Igor F. Turkanov, Ekaterina A. Galkina, Valery G. Gryaznov
The effect of pre-planting treatment with weak non-ionizing pulse fields on the productivity and quality of potato cultivars…… 794

Tatiana A. Rozhmina, Irina A. Andreeva
Effect of Magnum herbicide on productivity and quality of modern fiber flax cultivars……. 805

Nadezhda A. Zaitseva, Sergei V. Zaitsev
Research of *Carthamus tinctorius* L. F_1 hybrids in the conditions of the Northern Caspian region…… 818

Inga Yu. Ivanova, Andrey A. Fadeev, Svetlana V. Ilina
Comparative assessment of early-ripening soybean cultivars and samples in the conditions of the northern Volga region……. 831

Tatiana Ya. Prakhova, Anastasia L. Isakova
Agroecological evaluation of nigella in the forest-steppe conditions of the middle Volga region…….. 839

Elena Yu. Nevostrueva, Larisa V. Bagmet
Nomenclatural standards of strawberry cultivars bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station…… 846

AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

Irina G. Shirokikh, Svetlana E. Mokrushina, Roza I. Abubakirova
Bacterization of potato micro-plants in vitro by *Streptomyces* rhizobacteria increases the efficiency of cultivation…….. 855

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

Andrey V. Lednev, Andrey V. Lozhkin, Ivan M. Kudryavtsev
Changes in the properties of agrogray forest soils of the Udmurt Republic as a result of their long-term use in agricultural production……. 865

Irina A. Belozertseva, Darya N. Lopatina
Use and assessment of the current state of soils of the most fertile lands of the southeastern Baikal region…… 877

ZOOTECHNY

Svetlana V. Titova
Comparative evaluation of cows of different lineages according to their productivity and reproductive qualities…….. 889

Anton A. Kurochkin, Tatyana I. Kuzmina, Anna O. Prituzhalova
Content of exDNA in rooster's seminal plasma as a potential biomarker of sperm viability…….. 899

Elena S. Fedorova, Natalia V. Dementieva, Olga I. Stanishevskaya, Anna E. Ryabova
The relationship of the distribution of ROH in the genome of Russian snow-white chickens with productive and adaptive traits, depending on the direction of selection…… 906

VETERINARY MEDICINE

Anna O. Prituzhalova, Tatyana I. Kuzmina, Tatiana G. Khonina, Ulyana S. Nikulina
Biotesting of titanium tetrapolyethylene glycolate in 10 molar excess on granulosa cell culture of porcine follicles…… 920

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

Aleksandr I. Burkov, Andrei L. Glushkov, Victor A. Lazukin, Valentin Yu. Mokiev
Determination of optimal design and technological parameters of the operation of the KS-0.3P clover grater and scarifier in the wiping mode…… 930

Evgeniy A. Nikitin, Vladimir V. Kirsanov, Gennadiy N. Samarin, Viktoriya Yu. Sidorova, Ravza A. Mamedova, Inna V. Knyazeva, Andrey V. Titenkov
Improving the technology of feed distribution on dairy farmsfor cattle……... 938

Alexey I. Kutyrev
Convolutional neural network for segmentation of apple blossoms in images…… 949

CHRONCLE. Otari Nazirovich Didmanidze……. 962

ОБЗОРЫ/REVIEWS

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.739–753
УДК 004.89:631

(cc) BY

Применение искусственного интеллекта в сельском хозяйстве Китая (обзор)

© 2024. Е. Г. Раевская✉
ФГБУН Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

В последние годы наблюдаются значительные прорывы в развитии технологий с применением искусственного интеллекта (ИИ), кардинальным образом влияющих на самые разнообразные сферы жизни и деятельности человека. В данной обзорной статье в качестве объекта исследования рассматривается использование ИИ в сельском хозяйстве на примере Китая, который является лидером в темпах внедрения ИИ в национальную экономику и стремится перехватить у США общее лидерство в разработках ИИ-технологий. Благодаря активной работе в этом направлении и значительным финансовым вложениям в данную область, Китаю удалось существенно трансформировать свой сельскохозяйственный сектор. Цель статьи – анализ современных тенденций и возможностей, которые дает применение ИИ в аграрном секторе экономики КНР. Для этого рассмотрены трудности, с которыми сталкивается Китай при развитии сельского хозяйства, а также основные, известные на сегодняшний день направления применения ИИ в сельском хозяйстве и виды используемых технологий. Обобщена информация о китайских компаниях, применяющих ИИ-технологии в сельском хозяйстве, включая их специализацию, используемые технологии и извлекаемые преимущества. Предварительные данные показали, что ИИ используется, в первую очередь, для повышения производительности труда и эффективности производства, а, во вторую очередь, для решения проблем нехватки рабочей силы и достижения устойчивости производства. Анализ ситуации позволяет сделать вывод о том, что ИИ может стать главной движущей силой развития сельского хозяйства.

Ключевые слова: *сельскохозяйственные роботы, сельскохозяйственные дроны, точное земледелие, умная ферма, устойчивое сельское хозяйство*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук (тема № FFF-2022-0003).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Раевская Е. Г. Применение искусственного интеллекта в сельском хозяйстве Китая (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):739–753. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.739-753

Поступила: 13.06.2024 Принята к публикации: 16.09.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Introducing artificial intelligence in Chinese agriculture (review)

© 2024. Elena G. Raevskaya✉
Russian Institute for Scientific and Technical Information, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

In recent years, significant breakthroughs are observed in developing artificial intelligence (AI), which radically affects the most diverse areas of human life and activity. This review article examines the introduction of AI in agriculture using the example of China, which is a leader in the pace of introduction of AI into the national economy and seeks to head off the United States in the overall leadership in the development of AI technologies. Thanks to active work in this direction and significant financial investments in this area, China has managed to transform substantially its agricultural sector. The purpose of the article is to analyze the current trends and opportunities offered by the application of AI in the agricultural sector of the PRC economy. To this end, a series of difficulties that China faces in the development of agriculture is considered, as well as the main currently known areas of application of AI in agriculture and the types of technologies used. Information on Chinese companies using AI technologies in agriculture is summarized, including their specialization, technologies used and benefits gained. Early evidence shows that AI is being applied firstly to improve productivity and manufacturing performance, and secondly to address labor shortages and achieve manufacturing sustainability. Analysis of the situation allows us to conclude that AI can become the main driving force in the development of agriculture.

Keywords: *agricultural robots, agricultural drones, precision farming, smart farm, sustainable agriculture*

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 Russian Institute for Scientific and Technical Information (theme No. FFF-2022-0003).

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: Raevskaya E. G. Introducing artificial intelligence in Chinese agriculture (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):739–753. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.739-753

Received: 13.06.2024 Accepted for publication: 16.09.2024 Published online: 30.10.2024

В последние годы искусственный интеллект (далее – ИИ) стремительно ворвался в нашу жизнь и постепенно все больше проникает в ее различные сферы, существенно изменяя их, обещая и уже обеспечивая значительные улучшения, облегчение и ускорение разных видов деятельности человека [1, 2].

Для достижения такой бурной стадии развития потребовалось примерно 60–70 лет после того, как впервые было зафиксировано возникновение научного направления ИИ[1] (1956 г.). Действительно, ИИ не сразу нашел практическое применение, пережив историю ускоренного развития и этапы замедлений [3, 4, 5], однако в настоящее время его развитие носит взрывной характер. Создается впечатление, что скорость развития ИИ ставит жесткие рамки – внедрять его надо быстро, поскольку, кто будет медлить, окажется в отстающих, а кто внедрит ИИ, получит наибольшую экономическую выгоду. Несмотря на то, что у многих людей применение ИИ вызывает беспокойство, уже сейчас существует множество областей, где ИИ успешно применяется, среди которых можно назвать финансовую деятельность, государственное управление, научные исследования и разработки, промышленность, транспорт, медицину, искусство, развлечения, игры и многое другое [3]. Действительно, компании, внедрившие в свою деятельность различные формы ИИ, сообщают о существенном снижении затрат и увеличении своих доходов [1]. Поэтому в развитых странах ИИ становится драйвером экономического развития и его важнейшим стратегическим направлением.

Особенно интересно было бы проследить развитие ИИ на примере такой, на первый взгляд, далекой от технологических инноваций области, как сельское хозяйство. Кроме того, было бы любопытным сделать это на примере экономики Китая как одной из наиболее бурно развивающихся экономик мира, поскольку эта страна для своего быстрого продвижения часто подхватывает и впитывает в себя самые последние достижения науки и техники, быстро внедряя их в жизнь. Китай поставил задачу стать мировым лидером в области ИИ к 2030 г. и быстро сокращает разрыв в этой области с США, лидирующими в этом направлении в настоящий момент [6, 7, 8].

Согласно статистике, китайские компании показывают самый высокий уровень внедрения ИИ в мире. Так, в КНР 58 % компаний внедряют ИИ, а 30 % рассматривают возможность его интеграции. Для сравнения, в США уровень внедрения ниже – 25 % компаний используют ИИ, а 43 % изучают его потенциальное применение [9].

В России также поставлена цель развития искусственного интеллекта. В Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года одним из приоритетных направлений назван переход к «цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта»[2]. В 2019 г. утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта в Российской Федерации до 2030 года (указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490)[3]. В этой связи изучение опыта других стран, в том числе и Китая, могло бы способствовать ускорению развития ИИ в нашей стране, включая его применение в сельском хозяйстве.

[1]Под искусственным интеллектом в данной статье подразумевается наука и технология создания интеллектуальных машин, в частности, интеллектуальных компьютерных программ, имитирующих интеллектуальное поведение (способности к рассуждению, обучению, поиску целей, решению проблем и адаптации), которые получают рациональные результаты и используют их для выполнения конкретных задач без особого вмешательства человека [3, 4].

[2]«О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642. [Электронный ресурс]. URL: http://kremlin.ru/acts/bank/41449 (дата обращения: 16.05.2024).

[3]«О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 г. № 490. [Электронный ресурс]. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731/page/1 (дата обращения: 23.05.2024).

Цель обзора – анализ современных тенденций и возможностей применения ИИ в аграрном секторе экономики на примере сельского хозяйства Китая и конкретных достижений китайских компаний, работающих в области ИИ, не претендуя на детальный разбор развития этой области.

Материал и методы. Поиск научных статей осуществляли путем мониторинга электронных библиотечных систем: eLIBRARY.RU, ScienceDirect, Springer, Google Scholar, Academic Reference (CNKI), Crossref с использованием комбинаций следующих ключевых слов: artificial intelligence, China, agriculture, agricultural drones, agricultural robotics, agricultural sensors, precision farming, mapping, crop monitoring, disease detection, pest control, plant protection, livestock management, smart farm, AI-based analysis, cloud computing, supply chain, predictive analytics, AI-driven technologies. Для детального рассмотрения было отобрано 42 научные статьи и 5 монографий, в том числе 14 статей китайских исследователей, посвященных специфическим проблемам сельского хозяйства КНР. Рассматривали исследования, проведенные за последние 10 лет. Отдельно изучали выпуски англоязычного китайского журнала открытого доступа *Artificial Intelligence in Agriculture* (с начала выхода журнала в 2019 г. по настоящее время), а также веб-сайты известных китайских компаний, работающих в данном направлении (XAG, DJI Agriculture, Alibaba Cloud, Cainiao, Baidu и др.). Для анализа общей картины положения дел в области применения ИИ в сельском хозяйстве Китая были изучены отчеты известных аналитических компаний и веб-сайты со статистическими данными (McKinsey, statista.com, tracxn.com, fao.org и др.).

Основная часть. *Краткая характеристика проблем развития сельского хозяйства Китая*. Китай издавна был аграрной страной [10], и сейчас сельское хозяйство остается жизненно важной отраслью национальной экономики. Действительно, несмотря на низкую долю сельского хозяйства в общем объеме ВВП (7,3 %, [11]) Китая, оно должно обеспечивать продовольствием самое большое население в мире – более 1,4 млрд человек (20 % мирового населения). Неслучайно производство сельскохозяйственной продукции в КНР является самым крупным в мире, и это при том, что доля посевных площадей составляет всего 8 % от их мирового количества [12].

Тем не менее, сельское хозяйство Китая сталкивается с целым рядом серьезных проблем, замедляющих его успешное и устойчивое развитие. Перечислим основные из них.

1. Ограниченность пахотных земель. В Китае очень большое население, но количество пахотных земель на душу населения намного ниже, чем в среднем в мире. К тому же, в связи с урбанизацией их число продолжает уменьшаться [13, 14]. Следует также отметить труднодоступный характер земель в некоторых регионах, что затрудняет их орошение и обработку. Все это ограничивает возможности расширения посевных площадей и повышения производительности в сельском хозяйстве.

2. Нехватка воды. Китай сталкивается с серьезными проблемами нехватки воды, особенно в северных регионах [15]. Недостаток водных ресурсов и загрязнение воды негативно влияют на сельскохозяйственное производство.

3. Загрязнение окружающей среды. Индустриализация и урбанизация в Китае привели к загрязнению окружающей среды, включая почву и воздух [16, 17, 18]. Это может вызвать угнетение сельскохозяйственных культур и снижение их урожайности.

4. Изменение климата. Изменение климата представляет собой серьезную угрозу для сельского хозяйства во всем мире, и Китай не является исключением [12]. Изменение погодных условий, включая засухи, наводнения и экстремальные температуры, может оказать неблагоприятное воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур и производство продукции животноводства.

5. Фрагментированный характер собственности на землю. Земельная собственность в Китае фрагментирована: мелкие фермеры владеют небольшими участками земли. Такая фрагментированная собственность на землю препятствует механизации и масштабируемости экономики в сельском хозяйстве [19, 20].

6. Недостаточное применение современных технологий. Некоторые области китайского сельского хозяйства по-прежнему полагаются на традиционные методы ведения, которые ограничивают производительность и эффективность [21]. Внедрение современных технологий, таких как передовые ирригационные системы, точное земледелие и генная инженерия на сегодняшний день пока ограничено.

7. Старение сельского населения. Сельское население Китая стареет, и многие молодые люди мигрируют в городские районы в поисках лучших возможностей трудоустройства. Нехватка молодых, квалифицированных фермеров тормозит развитие и модернизацию сельского хозяйства, в котором велика доля ручного труда [22, 23].

8. Неравенство доходов. В Китае существует значительная разница в доходах между сельскими и городскими районами. Низкие доходы от сельского хозяйства препятствуют инвестициям в модернизацию методов ведения сельского хозяйства и инфраструктуры [24].

9. Волатильность рынка. Колебания цен на сырьевые ресурсы и товары рыночного спроса могут повлиять на прибыльность сельского хозяйства [25]. Фермеры часто сталкиваются с проблемами доступа к стабильным рынкам и обеспечения справедливых цен на свою продукцию.

Ко всем этим трудностям можно добавить существенную разницу между регионами Китая в географических условиях для сельского хозяйства. Попытки расширения сельскохозяйственных площадей на запад и север имели ограниченный успех, поскольку эти земли в большинстве случаев холоднее и засушливее, чем традиционные сельскохозяйственные угодья на востоке.

Таким образом, в настоящее время в Китае существует острая необходимость в модернизации и повышении эффективности сельского хозяйства. Одним из инструментов, которые способны помочь в решении перечисленных проблем, является искусственный интеллект [26, 27, 28], возможности применения которого в этой области рассмотрены в следующем разделе.

Основные направления применения ИИ в сельском хозяйстве и используемые технологии. ИИ дает огромные возможности для облегчения труда и повышения эффективности сельского хозяйства. Направления его применения в аграрной отрасли очень разнообразны, основные из них приведены на рисунке 1. Перечисленные направления приносят пользу уже сегодня, другие еще предстоит разработать по мере развития ИИ.

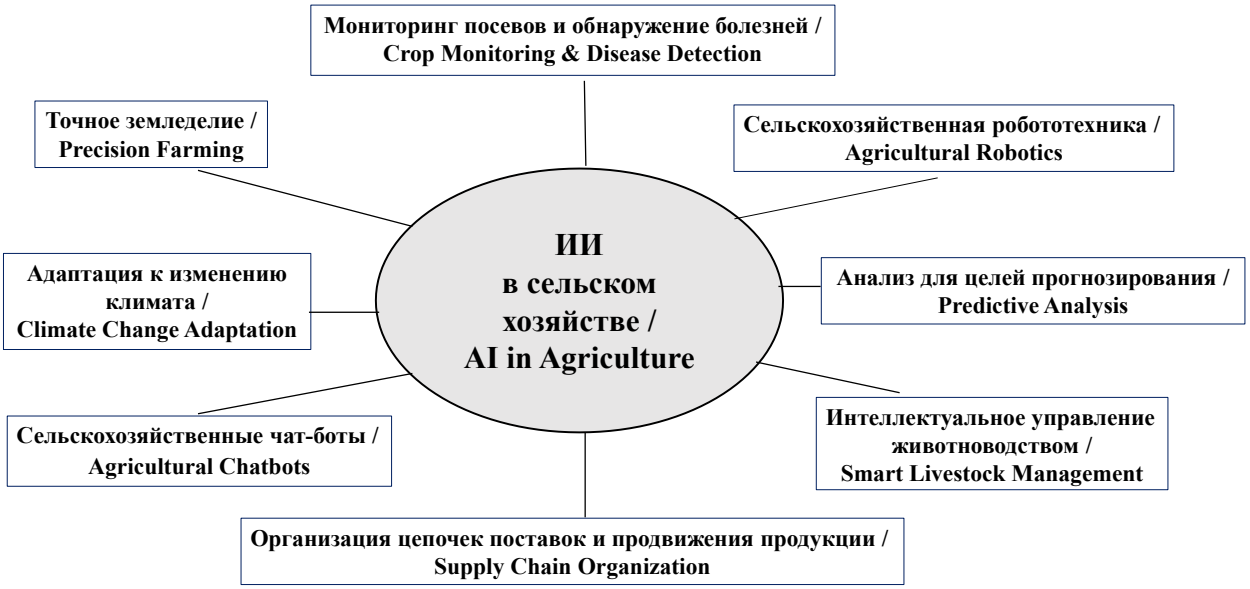


Рис. 1. **Основные направления применения ИИ в сельском хозяйстве /**
Fig. 1. **Main areas of application of AI in agriculture**

1. Точное земледелие означает, что угодья оценивают и обрабатывают не гектарами или условными полями, а отдельными участками земли с учетом их конкретных географических, ландшафтных и химических особенностей, неоднородности всходов, фаз вегетации, влажности и плодородия почвы, необходимости внесения удобрений и пр. Точность оценки достигается за счет объединения технологий (GPS, GIS и т. п.) и получаемых с их помощью данных: снимков со спутников и дронов, датчиков, установленных на технике и в полях, метеостанциях и пр. (определяются рельеф местности, показатели влажности, температуры, pH). Это помогает фермерам оптимизировать использование ресурсов и повышать урожайность сельскохозяйственных культур [29, 30, 31].

2. Мониторинг посевов и обнаружение болезней. Алгоритмы искусственного интеллекта (машинное обучение, компьютерное зрение) могут анализировать изображения или видео посевов, чтобы выявлять болезни, вредителей или недостаток питательных веществ. Это позволяет фермерам принимать своевременные меры и минимизировать потери урожая [32, 33].

3. Сельскохозяйственная робототехника. Роботы и дроны, управляемые искусственным интеллектом, используются для выполнения различных задач в сельском хозяйстве. Роботы выполняют физическую работу быстрее и точнее, чем это сделал бы человек: например, распознают и уничтожают сорняки на поле, собирают урожай, не повреждая плодов, и даже пасут скот на пастбищах. Другое направление применения роботов – это технологии точного земледелия. Их использование значительно сокращает трудозатраты и повышает эффективность сельского хозяйства [34].

4. Интеллектуальное управление животноводством. ИИ используется для мониторинга здоровья и поведения домашнего скота путем анализа данных сенсоров, прикрепленных к животным. Это помогает фермерам выявлять ранние признаки заболеваний, оптимизировать график кормления и контролировать здоровье стада [35].

5. Анализ с прогнозированием. Алгоритмы искусственного интеллекта могут анализировать ретроспективные данные, погодные условия и рыночные тенденции, чтобы дать предварительные оценки и прогнозы относительно урожайности сельскохозяйственных культур, рыночного спроса и цен на сырьевые товары. Это помогает фермерам принимать обоснованные решения о сроках посева/посадки, ценах и стратегиях маркетинга [36].

6. Оптимизация цепочки поставок. ИИ используется для оптимизации цепочек поставок сельскохозяйственной продукции, анализируя данные о логистике, хранении и транспортировке. Это помогает эффективно управлять запасами, сокращать потери и повышать общую эффективность работы [37].

7. Сельскохозяйственные чат-боты. Чат-боты на базе искусственного интеллекта могут в режиме реального времени отвечать на вопросы фермеров, предоставлять им информацию о конкретных культурах и предлагать рекомендации по борьбе с вредителями, применению удобрений и передовых методов ведения сельского хозяйства [38]. Для получения советов и поддержки фермеры могут использовать такие простые инструменты, как мобильный телефон с поддержкой SMS и специально разработанные приложения. Фермеры, имеющие доступ к Wi-Fi, могут получить индивидуальный план для своего хозяйства, разработанный на основе ИИ. Доступ к чат-боту может предоставляться также в любой социальной сети [39].

8. Адаптация к изменению климата. ИИ можно использовать для оценки воздействия изменения климата на сельское хозяйство и разработки стратегий адаптации к ним. Для этого ИИ выполняет анализ климатических данных, прогнозирует погодные условия и дает рекомендации по выбору устойчивых сортов сельскохозяйственных культур и методов ведения сельского хозяйства [40].

Для выполнения перечисленных выше сельскохозяйственных задач используются различные технологии искусственного интеллекта, которые широко обсуждались в недавних публикациях [41, 42, 43, 44]. Главные из этих технологий приведены на рисунке 2. Как показано на рисунке, комбинируя эти методы с такими видами цифровых технологий, как Интернет вещей, облачные вычисления, большие данные, беспроводные сенсорные сети и т. п., можно добиться огромных преимуществ сразу во многих направлениях деятельности [45].

В целом, осуществляя все эти действия и применяя соответствующие передовые технологии, ИИ может произвести революцию в сельском хозяйстве за счет повышения эффективности работы, снижения затрат, повышения производительности труда и продвижения устойчивых методов ведения сельского хозяйства. Примеры применения различных видов ИИ в сельскохозяйственных компаниях Китая представлены ниже.

Примеры применения ИИ в сельском хозяйстве Китая. Китай вкладывает огромные средства в развитие и внедрение в сельское хозяйство технологий на основе ИИ, что помогло ему колоссально трансформировать сельскохозяйственный сектор [46]. По оценкам [47], в 2020 г. стоимость «умного» сельского хозяйства Китая составила более 62 млрд юаней.

В таблице приведена информация о некоторых китайских компаниях, выпускающих продукцию для сельского хозяйства с использованием ИИ.

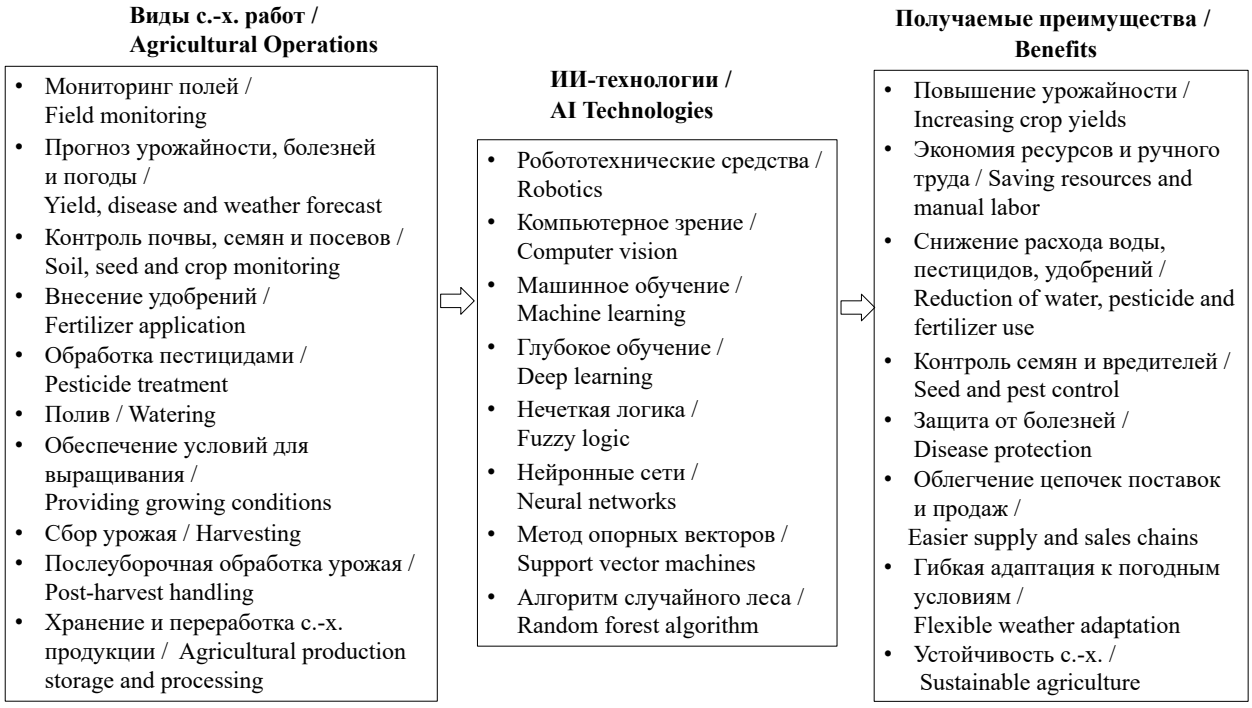


Рис. 2. **Технологии на основе ИИ, применяемые в сельском хозяйстве, и преимущества, которые они обеспечивают при выполнении с.-х. работ /**

Fig. 2. **AI-based agricultural technologies along with the activity types, and the benefits they provide**

Как видно из таблицы, это разнообразные компании от крупных с общим объемом привлеченных вложений порядка десятков и сотен млн долларов, производящих сельскохозяйственную технику и продающих ее в том числе в других странах (XAG, DJI Agriculture, Cainiao), до небольших частных компаний и стартапов с неуказанным начальным финансированием, выпускающих приложения на телефон или оборудование для теплиц или мелких хозяйств, помогающих фермерам в режиме онлайн получать информацию, необходимую для эффективного ведения работы и быстрого принятия решений в зависимости от конкретных условий. В перечисленной продукции задействованы различные ИИ-технологии, такие как облачные вычисления, интеллектуальная обработка больших данных, машинное обучение, глубокое обучение, компьютерное зрение и др., что обеспечивает достижение многочисленных преимуществ по сравнению с традиционными методами ведения сельского хозяйства. Рассмотрим некоторые примеры более подробно.

Ярким примером успешной компании рассматриваемого направления является основанная в 2007 г. фирма XAG, выпускающая управляемую ИИ-технику для сельского хозяйства [48]. XAG предлагает 6 видов продукции: сельскохозяйственные дроны; наземные мобильные роботы; автопилоты для сельскохозяйственной техники; системы для интернета вещей (IoT-системы); умные системы, применяемые в сельском хозяйстве[4]. Сельскохозяйственные дроны и роботы могут выполнять множество задач: анализировать состояние почвы и посевов, осуществлять посев семян, проводить опрыскивание посевов, полив и другие (рис. 3).

Продукты фирмы XAG применяются в 42 странах мира, включая РФ, компания обслуживает в общей сложности около 9,3 млн фермеров, охватывая 53 % рынка сельскохозяйственных дронов в Китае (данные 2020 г.) [49]. Эти устройства помогают фермерам снизить затраты на рабочую силу, сократить использование сельскохозяйственных ресурсов и повысить урожайность. Так, например, сельскохозяйственный дрон XAG P100Pro (рис. 3, д, е), предназначенный для точного посева семян, полива и опрыскивания растений, является полностью автономным, простым в обращении аппаратом, запускаемым с помощью мобильного телефона, с ним легко управляются пожилые фермеры, и его можно транспортировать даже на мотоцикле.

[4]Веб-сайт компании XAG. [Электронный ресурс]. URL: https://www.xa.com/en (дата обращения: 30.05.2024).

Таблица – **Примеры компаний Китая, применяющих ИИ в сельском хозяйстве /**
Table – **Examples of Chinese companies using AI in agriculture**

Название фирмы / Company Name	*Год основания, общий объем инвестиций / Found Year, funding*	*Место базирования / Location*	*Специализация / Profile*	*Технология / Technology*	*Получаемые преимущества / Benefits*
1	2	3	4	5	6
XAG	2007, 248 млн $ (248M USD)	Гуанчжоу (Китай) / Guangzhou (China)	Поставщик дронов и робототехники для точного земледелия / Provider of drones and robotics for applications in precision agriculture	Технологии на основе ИИ и Интернета вещей для беспилотной техники и других систем для умного сельского хозяйства / AI and IoT-based technologies for unmanned vehicles and other systems for smart agriculture	Оптимизация мониторинга посевов, выявление болезней, борьба с вредителями. Экосистема умного сельского хозяйства / Optimization of crop monitoring, disease detection, pest control. Smart agriculture ecosystem
XAGRY AgTech	Подразделение фирмы XAG / XAG Branch	Гуанчжоу (Китай) / Guangzhou (China)	Решения на основе ИИ для плодоводства и овощеводства / AI-driven solutions for fruit and vegetable farming	Технологии мониторинга посевов, выявления болезней, прогнозирования урожайности, автоматизированного сбора урожая / Technologies for crop monitoring, disease detection, yield forecasting, automated harvesting	Повышение урожайности, облегчение сбора урожая / Increased productivity, easier crop harvesting
DJI Agriculture	2015, 15 млн $ (15 M USD)	Шеньчжэнь (Китай) / Shenzhen (China)	Разработчик многофункциональных дронов, в т. ч. сельскохозяйственных для опрыскивания полей, составления карт и мониторинга / Developer of multi-utility drones, including agricultural drones for crop spraying, mapping, monitoring, etc.	Интеллектуальные решения в области технологий с.-х. дронов / Development of intelligent solutions for agricultural drone technologies	Повышение точности полива и опрыскивания полей пестицидами и удобрениями, снижение расхода воды и средств для опрыскивания, облегчение мониторинга / Increasing accuracy of watering and spraying fields with pesticides and fertilizers, reducing consumption of water and spraying agents, facilitating monitoring
Beijing Zhongke Yuandongli Technology	2018, 14,4 млн $ (14.4M USD)	Пекин (Китай) / Beijing (China)	Разработка ИИ-управляемой с.-х. техники / Development of AI-driven agricultural machinery	ИИ и технологии автономного вождения. Совместная работа нескольких транспортных средств на основе беспроводной связи, сенсоры и др. / AI and autonomous driving technologies, wireless-based multi-vehicle co-operation, sensors, etc.	Повышение безопасности, точности, экономичности и эффективности сельскохозяйственной техники / Improving safety, accuracy, cost-effectiveness and performance of agricultural machinery
PictureThis	2017, нет (Unfunded)	Гуанчжоу (Китай) / Guangzhou (China)	Платформа для обмена фотографиями и визуального распознавания растений / Photo sharing and visual plant recognition platform	Сканирование растений на камеру с мобильного приложения, доступного для устройств Android и iOS / Scanning plants on camera from a mobile app available for Android and iOS devices	Пользователи могут идентифицировать растения, деревья и цветы, получать о них информацию и рекомендации / The platform allows users to identify plants, trees, and flowers and get information and recommendations
Nxin	2015, 52.9 млн $ (52.9M USD)	Пекин (Китай) / Beijing (China)	Поставщик SaaS-платформы для управления свинофермой / Provider of SaaS platform for swine farm management	Сенсорный мониторинг температуры, влажности, содержания газа и передача данных через терминал / Sensor monitoring temperature, humidity, gas, and other indicators and transmitting data via terminal equipment	Повышение эффективности работы малых, средних и микропредприятий свиноводства / Improving the efficiency of small, medium and micro pig farming enterprises

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
Deepberry	2021	Сучжоу (Китай) / Suzhou (China)	Поставщик решений по управлению автоматизацией теплиц на основе ИИ для селекции с.-х. культур, алгоритмов посадки, защиты растений, цепочки поставок, оптимизации рынков / Provider of AI-based greenhouse automation control solutions for crop breeding, planting algorithms, plant protection, supply chains, market optimization	Сенсоры, Интернет вещей, искусственный интеллект, большие данные и облачные вычисления / Sensors, IoT, artificial intelligence, big data, and cloud computing	Глубокая интеграция технологии AIoT с технологией с.-х. производства для снижения затрат и повышения эффективности, улучшения качества продукции и увеличения доходов / Deep integration of AIoT technology with agricultural production technology to reduce costs and increase efficiency, improve quality and increase income
Chongho Bridge	2008	Дунчен (Китай) / Dongcheng (China)	Поставщик сельскохозяйственных услуг на основе искусственного интеллекта для фермеров и управления фермой с поддержкой Интернета вещей / Provider of AI-based farming services to farmers and IoT-supported farm management	ИИ-управляемые технологии для умного сельскохозяйственного производства, точного посева, селекции, отслеживания продукции и др. / AI-driven technologies for smart agricultural production, precision sowing, breeding, product tracking, etc.	Создание умных систем обслуживания с.-х. производства без участия человека / Creation of unmanned intelligent systems for maintenance of agricultural production
Dicui Intelligent Technology	2018, 40 млн юаней (40M RMB)	Шанхай (Китай) / Shanghai (China)	Поставщик сельскохозяйственных услуг на основе ИИ и Интернета вещей для фермеров / Provider of AI- and IoT-based agricultural services for farmers	Сенсоры и ИИ-платформа аналитики, мониторинг в реальном времени, дистанционное управление, интеграция с системой орошения, ИИ-хостинг, облачное хранилище / Sensors and AI analytics platform, real-time monitoring, remote control, integration with irrigation system, AI hosting, cloud storage	Анализ собранных данных позволяет контролировать важные параметры, прогнозировать погодные условия, дает поддержку принятия решений для эффективного выращивания с.-х. продукции / Analysis of collected data provides monitoring important parameters, predicting weather conditions, and supporting decision-making for efficient crop production
Cainiao Smart Logistics Network	2013, 5.7 млн $ (5.7M USD)	Гуанчжоу (Китай) / Guangzhou (China)	ИИ-анализ погоды, почвы и структуры посевов / AI analysis of weather, soil and crop patterns	Облачные вычисления / Cloud computing	Повышение эффективности цепочек поставок, оптимизация логистических операций в с.-х. и сокращение послеуборочных потерь / Increasing efficiency of supply chains, optimizing logistics operations in agriculture and reducing post-harvest losses
FarmFriend	2016, 17 млн $ (17M USD)	Пекин (Китай) / Beijing (China)	Платформа сбора и обмена данными с дронов и предложений решений посредством анализа. Услуги по мониторингу и защите посевов, прогнозу и уборке урожая / Platform for collecting and sharing data from drones and proposing analysis-based solutions. Crop monitoring and protection, forecasting and harvesting services	ИИ и машинное обучение / AI and machine learning	Повышение эффективности с.-х. производства путем мониторинга и анализа данных. Помощь фермерам в принятии обоснованных решений для улучшения управления посевами, защиты и уборки урожая / Improving efficiency of agricultural production through monitoring and analyzing data. Helping farmers in informed decision-making for better crop management, protection and harvesting
Forbon	1990	Ухань (Китай) / Wuhan (China)	Производитель и поставщик удобрений, но также предлагает решения для цифрового сельского хозяйства на основе больших данных и ИИ-технологий / Manufacturer and supplier of fertilizers, but also offers solutions for digital agriculture based on big data and AI technologies	Сенсоры, дроны и другая техника с использованием ИИ / Sensors, drones and other AI-driven technologies	Помощь в принятии решений, интеллектуальный контроль, точные инвестиции и персонализированные услуги. Автоматизация с.-х. машин / Decision support, intelligent control, precise investments and personalized services. Agricultural machine automation



Рис. 3. **Примеры применения в сельском хозяйстве устройств на основе ИИ, производимых китайской компанией XAG: а – составление карт полей и планирование их обработки; б – посев семян риса с помощью с.-х. дрона в труднодоступной местности; в – полив и защита фруктовых деревьев с помощью наземного беспилотного автомобиля; г – установка IoT-системы для сбора и анализа информации о с.-х. культурах; д – точный полив и опрыскивание растений с помощью с.-х. дрона для борьбы с вредителями и внесения удобрений; е – автономный с.-х. дрон XAG P100Pro, может транспортироваться с помощью мотоцикла. Источник: XAG Corporate Social Report 2020 [49] /**

Fig. 3. **Examples of using agricultural AI-based devices produced by the Chinese company XAG: a – mapping fields and planning their treatment; b – sowing rice seeds using agricultural drone in hardly accessible areas; c – watering and protecting fruit trees using a ground-based unmanned vehicle; d – installation of an IoT system for collecting and analyzing information on agricultural crops; e – precise watering and spraying of plants using agricultural drone to control pests and apply fertilizers; f – XAG P100Pro autonomous agricultural drone can be transported using a motorbike. Source: XAG Corporate Social Report 2020 [49]**

Другим примером применения ИИ в сельском хозяйстве является компания DJI Agriculture, подразделение известной китайской фирмы DJI, созданное в 2015 г. с целью разработки интеллектуальных решений в сфере беспилотных технологий, направленных на внедрение инноваций и развитие сельского хозяйства на мировом уровне. Продукция DJI Agriculture работает в 30 странах, обеспечивая более 10 млн специалистов интеллектуальными сельскохозяйственными решениями (рис. 4). Например, фирма предлагает специализированный комплекс для сельского хозяйства, охватывает полный цикл сельскохозяйственных работ, выполняемых беспилотной авиацией (рис. 4), а именно:

1. Кадастровая съемка, картографирование, определение границ земельных участков.
2. Анализ плодородия почвы, планирование посевной кампании.
3. Регулярный мониторинг посевов, определение слабых и поражённых вредителями и болезнями растений.
4. Адресное распыление пестицидов, гербицидов и жидких удобрений.
5. Определение степени созревания урожая и выявление оптимальных временных интервалов для сбора.



Рис. 4. **Специализированный комплекс компании DJI Agriculture, выполняющий полный цикл сельскохозяйственных работ с применением БПЛА, использующих алгоритмы искусственного интеллекта. Источник: веб-сайт компании https://ag.dji.com/** /

Fig. 4. **A specialized complex from DJI Agriculture, which performs a full cycle of agricultural works using UAVs with artificial intelligence algorithms. Source: company website https://ag.dji.com/**

Еще один пример плодотворного применения ИИ в сельском хозяйстве показывает китайская компания Alibaba Group, точнее ее подразделения Alibaba Cloud [50] и Cainiao Smart Logistics [51]. Так, в 2022 г. Cainiao построила первый сельскохозяйственный интеллектуальный производственный склад на юго-западе Китая, в поясе фруктовой промышленности Линшань в Гуанси, как раз к наступлению сезона личи, реализовав новый способ интеграции этапов сбора плодов, производства, транспортировки и маркетинга продукции с помощью цифровых технологий интеллектуальной сортировки, обработки и организации продажи [52] (рис. 5).



Рис. 5. **Интеллектуальный сельскохозяйственный производственный склад на юго-западе Китая компании Cainiao Logistics [52]** /

Fig. 5. **Intelligent agricultural production warehouse in southwest China by Cainiao Logistics [52]**

Судя по общему объему продаж того года, разработанная технология обработки личи с применением интеллектуальной сортировки и других вспомогательных операций обеспечила превосходный стандартизированный продукт, что позволило установить хорошие цены по сравнению с традиционным способом обработки личи. Цена продаж выросла на 20–40 %, при этом бóльшая часть выручки стала фактическим доходом фермеров, выращивших эти фрукты.

Компания Alibaba Cloud, одно из подразделений Alibaba Group, разрабатывает интеллектуальные решения, способствующие цифровой трансформации различных отраслей, включая сельское хозяйство (сельскохозяйственные угодья, рыболовство и лесное хозяйство). Используя новейшие технологии на основе ИИ, Alibaba Cloud создала собственную интеллектуальную сельскохозяйственную платформу, которая собирает и анализирует важнейшие параметры на протяжении всего производственного процесса в цифровом формате, а также предоставляет основанные на алгоритмах рекомендации по ведению сельского хозяйства на каждом этапе жизненного цикла управления: от подготовки почвы до полива, внесения удобрений и сбора урожая. Применив облачную интеллектуальную сельскохозяйственную платформу Alibaba, компания помогла фермерам в Яньляне (в районе Сиань на северо-западе Китая) значительно увеличить эффективность производства и продажи местных дынь, основного источника дохода фермеров [50]. Когда дыни впервые появились на платформе Alibaba Tmall во время Всемирного торгового фестиваля Alibaba 11 ноября 2018 г., за 15 мин было продано более 3,5 тонн дынь. В целом продажи на Taobao и Tmall выросли более чем на 30 % по сравнению с аналогичным сезоном предыдущих лет, а цена дыни выросла в среднем почти в два раза, чем при обычной продаже. Использование цифровых технологий и интеллектуальных инструментов открывает гораздо больше возможностей для фермеров, а также повышает их конкурентоспособность на рынке.

Заключение. Несмотря на то, что научное направление ИИ появилось в середине прошлого века, именно в последние годы мы можем наблюдать его стремительное развитие и внедрение в самые разнообразные области нашей жизни, что приводит к поразительным и неизвестным до сих пор изменениям, ускоряющим и облегчающим деятельность человека. Это продвижение не обошло стороной такую жизненно важную сферу экономики, как сельское хозяйство, главная цель которого накормить население нашей планеты продукцией высокого качества, численность которого постоянно растет и, по оценкам [53], к 2080 г. превысит 10 млрд чел.

Тем более это важно для такой страны, как Китай, которая на данный момент имеет самое большое население в мире (примерно пятую часть от общего количества во всех странах) и при этом сталкивается с рядом объективных проблем и трудностей при ведении сельского хозяйства. Не стоит забывать, что в этой специфической области экономики использование технологий сочетается с большим количеством тяжелого физического труда и влиянием часто неблагоприятных естественных биологических факторов.

Все эти трудности помогает преодолеть применение ИИ, который уже продемонстрировал свои многообещающие возможности в этой сфере. ИИ может применяться и уже применяется во многих областях сельского хозяйства, включая сельскохозяйственные роботы и дроны, интеллектуальные фермы, большие данные, точное земледелие и др. Роботы могут управлять, контролировать и осуществлять посевы, вести наблюдение и контроль после посева, обрабатывать почву, вносить удобрения и средства борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур, а также измерять степень зрелости и проводить уборку урожая. Умные фермы используют различные датчики и оборудование для мониторинга и детального управления сельскохозяйственными культурами и животными, включая параметры окружающей среды, такие как температура, освещенность, влажность почвы и питательные вещества в почве, состояние здоровья животных и т. д.

Благодаря обработке и анализу больших сельскохозяйственных данных мы можем получать и анализировать предварительную информацию о спросе на виды сельскохозяйственной продукции, условиях культивирования, наличии влияния возможных внешних факторов на производство сельскохозяйственных культур, а затем корректировать планы посадки и ведения хозяйства для принятия более точных решений. В то же время анализ больших данных также помогает фермерам прогнозировать погоду, принимать своевре-

менные меры против вредителей и болезней, контролировать качество продукции и т. д., эффективно снижая производственные затраты. Интеллектуальный посев/посадка семян и растений не требует участия человека или громоздких операций, что позволяет сэкономить время и труд. Записи и данные о формировании урожая, хранящиеся в облаке, расширяют возможности мониторинга качества продукции.

Как было сказано выше, Китай является лидером по внедрению ИИ в свою экономику и, в частности, в ее аграрный сектор. По свежим данным, рынок ИИ в сельском хозяйстве КНР оценивается в 148,24 млн $ США, при этом ожидается, что к 2029 г. его совокупный среднегодовой темп роста достигнет 7,84 % [54]. Известно, что в настоящее время экономический рост Китая в целом замедляется, и в связи с этим можно ожидать, что внедрение ИИ сможет дать стране столь необходимый толчок к повышению производительности и росту, особенно в условиях продолжающегося сокращения численности населения трудоспособного возраста [55, 56]. По оценкам [55], к 2035 г. ИИ может увеличить темпы экономического роста Китая на 1,6 %.

На примере китайских компаний в статье показано, что применение ИИ в сельском хозяйстве не только повышает эффективность и качество сельскохозяйственного производства, но и снижает затраты и риски, а также трудоемкость производства, значительно облегчая работу фермеров и повышая их доходы. Это согласуется с выводами других современных исследований о влиянии применения ИИ в Европе, Африке, Азии и Северной Америке [57, 58, 59]. Результаты этих исследований показали, что ИИ используется, в первую очередь, для повышения производительности труда и эффективности производства и, во вторую очередь, для решения проблем нехватки рабочей силы и достижения экологической устойчивости. Практическое применение ИИ – новое направление, которое находится на начальной стадии своего развития, ситуация формируется очень динамично и гибко, поэтому в публикациях не так много точных данных по повышению эффективности от применения ИИ в сельском хозяйстве. Например, фирма XAG сообщает, что переход с ручного труда на использование БПЛА во Вьетнаме повысил урожайность рисовых полей на 14 %, посев при этом проводили в 4 раза быстрее [49]. Точная и равномерная обработка культур с помощью техники и прогнозирования на основе ИИ позволяет выращивать больше продовольствия, используя на 30 % меньше пестицидов и на 90 % меньше воды [49].

В одном из недавних исследований на основе предварительного анализа патентов изучено соотношение между применением ИИ и производительностью труда в Китае [60]. Показано, что ИИ положительно влияет на рост производительности труда в целом, но не так заметно в сельскохозяйственном секторе. Авторы рекомендуют правительству КНР усилить инвестиции в инновации и ИИ, проводить программы переподготовки работников для повышения их квалификации. В другом исследовании установлена положительная корреляция между применением ИИ и ростом доходов фермеров и экономическим развитием регионов Китая [61]. Важно отметить, что преимуществом применения ИИ является не только универсальность некоторых технических инструментов и средств, но и возможность оказать помощь в решении специфических проблем конкретных фермерских хозяйств с совершенно разными исходными условиями работы (географическое расположение, климат, рабочая сила, неожиданные изменения погодных условий и т. д.) [48, 50].

Таким образом, подводя итоги, можно сделать вывод, что применение ИИ дает ответ на решение проблем, с которыми сталкивается сельское хозяйство в Китайской Народной Республике. Можно ожидать, что искусственный интеллект станет главной движущей силой развития устойчивого сельского хозяйства, эффективным средством возрождения сельских регионов и создания современного устойчивого сельского хозяйства в рамках нового технологического уклада 4.0 с улучшенной производительностью труда и высокой эффективностью производства.

References

1. The state of AI in 2023: Generative AI's breakout year. McKinsey, 2023. Survey. URL: https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2023-generative-ais-breakout-year

2. AI Index Report 2023 – Artificial Intelligence Index. URL: https://aiindex.stanford.edu/report/

3. Monostori L. Artificial Intelligence. In: Laperrière L., Reinhart G. (eds). CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014. pp. 47–50. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-20617-7_16703

4. Russell S. J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th ed.). Hoboken: Pearson, 2021. p. 18.

5. Ask the AI experts: What's driving today's progress in AI? McKinsey & Company, 2017. URL: https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/ask-the-ai-experts-whats-driving-todays-progress-in-ai

6. Струкова П. Э. Искусственный интеллект в Китае: современное состояние отрасли и тенденции развития. Вестник Санкт-Петербургского университета. Востоковедение и африканистика. 2020;12(4):588–606. DOI: https://doi.org/10.21638/spbu13.2020.409 EDN: NMYQLN

Strukova P. E. Artificial intelligence in China: the current state of industry and development trends. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Vostokovedenie i afrikanistika* = Vestnik of Saint Petersburg University. Asian and African Studies. 2020;12(4):588–606. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21638/spbu13.2020.409

7. Матвеенков К. Искусственный интеллект с китайской спецификой: станет ли Китай мировым лидером в сфере ИИ к 2030 году? Аналитическая статья. РМСД. 2022. Режим доступа: https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/iskusstvennyy-intellekt-s-kitayskoy-spetsifikoy-stanet-li-kitay-mirovym/

Matveenkov K. Artificial intelligence with Chinese characteristics: will China become a world leader in AI by 2030? Analytical article. RMSD. 2022. URL: https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/iskusstvennyy-intellekt-s-kitayskoy-spetsifikoy-stanet-li-kitay-mirovym/

8. Johansson A. C. China's AI ecosystem – Stockholm School of Economics (Report). 2022. 68 p. URL: https://www.hhs.se/contentassets/bc962221471a415ba8ac01fbbf160277/chinas-ai-ecosystem-nov-2022.pdf

9. Haan K., Watts R. 24 Top AI Statistics and Trends in 2024.
URL: https://www.forbes.com/advisor/business/ai-statistics/

10. Zhou Y., Li X., Liu Y. Rural land system reforms in China: History, issues, measures and prospects. Land Use Policy. 2020;91:104330. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104330

11. Textor C. Distribution of the gross domestic product (GDP) across economic sectors in China from 2013 to 2023. Statista. URL: https://www.statista.com/statistics/270325/distribution-of-gross-domestic-product-gdp-across-economic-sectors-in-china/

12. Chen S., Chen X., Xu J. Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China. Journal of Environmental Economics and Management. 2016;76:105–124. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jeem.2015.01.005

13. Chen A., He H., Wang J., Li M., Guan Q., Hao J. A Study on the Arable Land Demand for Food Security in China. Sustainability. 2019;11(17):4769. DOI: https://doi.org/10.3390/su11174769

14. Wang L., Anna H., Zhang L., Xiao Y., Wang Y., Xiao Y., Liu J., Ouyang Z. Spatial and Temporal Changes of Arable Land Driven by Urbanization and Ecological Restoration in China. Chinese Geographical Science. 2019;29:809–819. DOI: https://doi.org/10.1007/s11769-018-0983-1

15. Li Y., Yang W., Shen X., Yuan G., Wang J. Water Environment Management and Performance Evaluation in Central China: A Research Based on Comprehensive Evaluation System. Water. 2019;11(12):2472. DOI: https://doi.org/10.3390/w11122472

16. Voumik L. C., Sultana T. Impact of urbanization, industrialization, electrification and renewable energy on the environment in BRICS: fresh evidence from novel CS-ARDL model. Heliyon. 2022;8(11):e11457.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11457

17. Su Y., He S., Wang K., Shahtahmassebi A. R., Zhang L., Zhang J., Zhang M., Gan M. Quantifying the sustainability of three types of agricultural production in China: An emergy analysis with the integration of environmental pollution. Journal of Cleaner Production. 2020;252:119650.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119650

18. Cai J., Li X., Liu L., Chen Y., Wang X., Lu S. Coupling and coordinated development of new urbanization and agro-ecological environment in China. Science of the Total Environment. 2021;776:145837.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145837

19. Wang J., Cao Y., Fang X., Li G., Cao Y. Does land tenure fragmentation aggravate farmland abandonment? Evidence from big survey data in rural China. Journal of Rural Studies. 2022;91:126–135.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.03.013

20. Hua J., Wang H., Kang M., Wang X., Guo S., Chang F., Wang F. Y. The design and implementation of a distributed agricultural service system for smallholder farmers in China. International Journal of Agricultural Sustainability. 2023;21(1):2221108. DOI: https://doi.org/10.1080/14735903.2023.2221108

21. Liu Y., Zang Y., Yang Y. China's rural revitalization and development: Theory, technology and management. Journal of Geographical Sciences. 2020;30:1923–1942. DOI: https://doi.org/10.1007/s11442-020-1819-3

22. Li D., Yang H. State-of-the-art Review for Internet of Things in Agriculture. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. 2018;49(1):1–20. DOI: https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2018.01.001

23. Lee C. C., Yan J., Wang F. Impact of population aging on food security in the context of artificial intelligence: Evidence from China. Technological Forecasting and Social Change. 2024;199:123062.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123062

24. Wan G. Accounting for income inequality in rural China: a regression-based approach. In China's Rural Economy after WTO. Routledge, 2019. pp. 115–133.

25. Hau L., Zhu H., Huang R., Ma X. Heterogeneous dependence between crude oil price volatility and China's agriculture commodity futures: Evidence from quantile-on-quantile regression. Energy. 2020;213:118781. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118781

26. Kotte B., Naveen A., Sai Akhil V., Lingireddy H., Gowtham K. V., Mudhale A., Sri B. G., Abhishek E. Artificial intelligence (AI) and its applications in agriculture: A Review. Environment Conservation Journal. 2024;25(1):274–288. DOI: https://doi.org/10.36953/ECJ.24052645

27. Shi L., Shi G., Qiu H. General review of intelligent agriculture development in China. China Agricultural Economic Review. 2019;11(1):39–51. DOI https://doi.org/10.1108/CAER-05-2017-0093

28. Sood A., Sharma R. K., Bhardwaj A. K. Artificial intelligence research in agriculture: A review. Online Information Review. 2022;46(6):1054–1075. DOI: https://doi.org/10.1108/OIR-10-2020-0448

29. Raj E. F. I., Appadurai M., Athiappan K. Precision farming in modern agriculture. In Smart Agriculture Automation Using Advanced Technologies: Data Analytics and Machine Learning, Cloud Architecture, Automation and IoT. Singapore: Springer Singapore, 2022. pp. 61–87.

30. Gawande V., Saikanth D. R. K., Sumithra B. S., Aravind S. A., Swamy G. N., Chowdhury M., Singh B. V. Potential of Precision Farming Technologies for Eco-Friendly Agriculture. International Journal of Plant & Soil Science. 2023;35(19):101–112. DOI: https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i193528

31. Henrietta H. M. Artificial intelligence in agriculture: a review of current applications and future trends. In Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences Vol. 3 Book 11. IIP Series. 2024;3:1–6. DOI: https://doi.org/10.58532/V3BCAG11P1CH1

32. Ouhami M., Hafiane A., Es-Saady Y., El Hajji M., Canals R. Computer vision, IoT and data fusion for crop disease detection using machine learning: A survey and ongoing research. Remote Sensing. 2021;13(13):2486. DOI: https://doi.org/10.3390/rs13132486

33. Eli-Chukwu N. C. Applications of artificial intelligence in agriculture: A review. Engineering, Technology & Applied Science Research. 2019;9(4):4377–4383. DOI: https://doi.org/10.48084/etasr.2756

34. Fountas S., Mylonas N., Malounas I., Rodias E., Hellmann Santos C., Pekkeriet E. Agricultural robotics for field operations. Sensors. 2020;20(9):2672. DOI: https://doi.org/10.3390/s20092672

35. Neethirajan S. Artificial intelligence and sensor technologies in dairy livestock export: charting a digital transformation. Sensors. 2023;23(16):7045. DOI: https://doi.org/10.3390/s23167045

36. Sharma K., Sharma C., Sharma S., Asenso E. Broadening the research pathways in smart agriculture: predictive analysis using semiautomatic information modeling. Journal of Sensors. 2022;1:5442865. DOI: https://doi.org/10.1155/2022/5442865

37. Bačiulienė V., Bilan Y., Navickas V., Civín L. The Aspects of artificial intelligence in different phases of the food value and supply chain. Foods. 2023;12(8):1654. DOI: https://doi.org/10.3390/foods12081654

38. Niranjan P. Y., Rajpurohit V. S., Malgi R. A survey on chat-bot system for agriculture domain. In 2019 1st International Conference on Advances in Information Technology (ICAIT). IEEE, Chikmagalur, India, 2019. pp. 99–103. DOI: https://doi.org/10.1109/ICAIT47043.2019.8987429

39. Mostaco G. M., De Souza I. R. C., Campos L. B., Cugnasca C. E. AgronomoBot: a smart answering Chatbot applied to agricultural sensor networks. In 14th international conference on precision agriculture. 2018;24:1–13.

40. Cheong S. M., Sankaran K., Bastani H. Artificial intelligence for climate change adaptation. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. 2022;12(5):e1459. DOI: https://doi.org/10.1002/widm.1459

41. Sachithra V., Subhashini L. D. C. S. How artificial intelligence uses to achieve the agriculture sustainability: Systematic review. Artificial Intelligence in Agriculture. 2023;8:46–59. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aiia.2023.04.002

42. Bhagat P. R., Naz F., Magda R. Artificial intelligence solutions enabling sustainable agriculture: A bibliometric analysis. PloS one. 2022;17(6):e0268989. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268989

43. Oliveira R. C. d., Silva R. D. d. S. e. Artificial Intelligence in Agriculture: Benefits, Challenges, and Trends. *Applied Sciences*. 2023;13(13):7405. DOI: https://doi.org/10.3390/app13137405

44. Mishra H., Mishra D. Artificial intelligence and machine learning in agriculture: Transforming farming systems. Research Trends in Agriculture Science. 2023;1:1–16.

45. Singh G., Kalra N., Yadav N., Sharma A., Saini M. Smart agriculture: a review. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022;14(6):423–454. DOI: https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-423-454

46. Application of artificial intelligence in agriculture: How to make AI the cornerstone of precision agriculture? Lingzi AI Technology. 2023. URL: https://baijiahao.baidu.com/s?id=1769836601583870425&wfr=spider&for=pc

47. Slotta D. Artificial intelligence in China – statistics & facts. Statista. 2024. URL: https://www.statista.com/topics/8383/artificial-intelligence-in-china/#topicOverview

48. Zhou O. XAG smart agriculture system: reshaping the future of an AI-powered smart farm. In: Elbehri A. and Chestnov R. (eds). Digital agriculture in action – Artificial intelligence for agriculture. Bangkok: FAO and ITU, 2021. pp. 49–60. DOI: https://doi.org/10.4060/cb7142en

49. XAG Corporate Social Responsibility Report. 2020. 34 p. URL: https://www.xa.com/en/about/csr

50. Zhenyu Z. Using Alibaba Cloud's AI and Alibaba's ecosystem resource to support the digitalization of agriculture in Yanliang. In: Elbehri A. and Chestnov R. (eds). Digital agriculture in action – Artificial intelligence for agriculture. Bangkok: FAO and ITU, 2021. pp. 61–70. DOI: https://doi.org/10.4060/cb7142en

51. Wang J., Si F., Yang S., Wang L. Business Model Innovation of Chinese Logistics Enterprises from the Perspective of Ecosystems: The Case of Cainiao Network. Preprint. 2023.
DOI: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3584501/v1

52. Cainiao smart warehouse helps increase fruit prices. 2022.
URL: https://mp.weixin.qq.com/s/Rhm2uffvQdrvYGEKqEEJDA

53. Roser M., Ritchie H. How has world population growth changed over time? Our World in Data. 2023.
URL: https://ourworldindata.org/population-growth-over-time

54. China AI in Agriculture Market by Technology (Machine Learning, Predictive Analytics and Computer Vision), by Offering (Hardware, Software and AI-as-A-Service), by Application (Precision Farming, Livestock Monitoring, Agriculture Robots, Drone and Others), by Region, Competition, Forecast and Opportunities, 2019–2029F. TechsciResearch Report.
URL: https://www.techsciresearch.com/report/china-ai-in-agriculture-market/1887.html#collapsefour

55. Hopkins M. Report: AI to Boost China's Growth, Agriculture to Benefit. 2024.
URL: https://www.agribusinessglobal.com/markets/asia/report-ai-to-boost-chinas-growth-agriculture-to-benefit/

56. Zhou G., Chu G., Li L., Meng L. The effect of artificial intelligence on China's labor market. China Economic Journal. 2019;13(1):24–41. DOI: https://doi.org/10.1080/17538963.2019.1681201

57. Vadlamudi S. How Artificial Intelligence Improves Agricultural Productivity and Sustainability: A Global Thematic Analysis. Asia Pacific Journal of Energy and Environment. 2019;6(2):91–100.
DOI: https://doi.org/10.18034/apjee.v6i2.542

58. Munnisunker S., Nel L., Diederichs D. The Impact of Artificial Intelligence on Agricultural Labour in Europe. Journal of Agricultural Informatics. 2022;13(1):638. DOI: https://doi.org/10.17700/jai.2022.13.1.638

59. Sahota N. AI in Agriculture: Boosting Productivity and Sustainability. 2023.
URL: https://www.neilsahota.com/ai-in-agriculture-boosting-productivity-and-sustainability/

60. Lai Z., Yunus N. M. A preliminary study on artificial intelligence and labour productivity in China. International Business Education Journal. 2024;17(2):12–25. DOI: https://doi.org/10.37134/ibej.Vol17.2.2.2024

61. Tian T., Li L., Wang J. The Effect and Mechanism of Agricultural Informatization on Economic Development: Based on a Spatial Heterogeneity Perspective. Sustainability. 2022;14(6):3165.
DOI: https://doi.org/10.3390/su14063165

Сведения об авторе

✉ **Раевская Елена Геннадьевна**, кандидат хим. наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук, ул. Усиевича, д. 20, г. Москва, Российская Федерация, 125190, e-mail: dir@viniti.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0003-3567-0509**,
e-mail: len_raev@mail.ru

Information about the author

✉**Elena G. Raevskaya**, PhD in Chemistry, senior researcher, Russian Institute for Scientific and Technical Information, Russian Academy of Sciences, Usievich Street, 20, Moscow, Russian Federation, 125190,
e-mail: dir@viniti.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0003-3567-0509**, e-mail: len_raev@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.754–769
УДК 633.31/.37:633.32 [633.321:633.322:633.323]

(cc) BY

Многолетние травы семейства Бобовые (*Fabaceaes* L.) – как основная база развития кормопроизводства Нечерноземья (обзор)

© 2024. Л. Н. Пак[1,2], Д. А. Иванов[1]✉, М. В. Рублюк[1]
[1]*ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация*
[2]*ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь, Российская Федерация*

Многолетние травы семейства Бобовые (Fabaceaes* L.) *способны обеспечить животноводство ценными кормами. Для получения высококачественных кормов для высокопродуктивного молочного и мясного скота проводили испытание разных видов и сортов многолетних кормовых трав этого семейства в различных региональных почвенно-климатических и агротехнологических условиях территории. В данной статье приведен обзор 63 опубликованных научных работ российских исследователей, преимущественно за последние 20 лет, по изучению основных биолого-экологических особенностей и продуктивности видов и сортов в зависимости от ареала их возделывания в Северном, Северо-Западном, Центральном, Волго-Вятском и Уральском экономических районах Нечерноземной зоны России. Установлено, что многолетние травы семейства Бобовые обладают космополитичностью в связи с хорошей увлажненностью почв территории и небольшой требовательностью растений к теплу. Возделывание разных видов и сортов позволяет получить дешевые, высокоурожайные объемистые корма (сено, сенаж, силос). На качественные показатели кормов влияет уровень энерго-протеинонасыщенности, который меняется в зависимости от вида, сорта бобовых трав, способов использования (пастбищное, укосное) и времени уборки травостоев. Низкое содержание протеина в кормах животных приводит к ухудшению перевариваемости, снижению потребления корма и ослаблению питательных показателей молока и мяса. Достоинства видов и сортов бобовых трав сильно варьируют в зависимости от почвенно-климатических условий районов возделывания, что не позволяет сделать однозначного вывода о ценности конкретного вида и сорта, гарантировать получение ежегодного урожая для заготовки кормов. Данный обзор может быть полезен для организаций, занимающихся поиском видов и сортов семейства Бобовые, более адаптированных к факторам среды, для обоснования целесообразности их использования в производстве на кормовые цели.

Ключевые слова: *клевер, люцерна, козлятник, клевер ползучий, клевер гибридный, клевер луговой, сорта, продуктивность*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ ФИЦ «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: Пак Л. Н., Иванов Д. А., Рублюк М. В. Многолетние травы семейства Бобовые (*Fabaceaes* L.) – как основная база развития кормопроизводства Нечерноземья (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):754–769. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.754-769

Поступила: 08.04.2024 Принята к публикации: 16.09.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Perennial grasses of the legume family (*Fabaceaes* L.) – as the main basis for the development of fodder production in the Non-Black Earth Region (review)

© 2024. Larisa N. Pak Пак[1,2], Dmitriy A. Ivanov[1]✉, Maria V. Rublyuk[1]
[1]*Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation*
[2]*Tver State University, Tver, Russian Federation*

Perennial herbs of the Legume family (Fabaceaes* L.) *are able to provide livestock with valuable feed. To obtain high-quality feed for highly productive dairy and beef cattle, different species and cultivars of the family are tested in various regional soil, climatic and agrotechnological conditions of the territory. This article provides an overview of 64 published scientific papers by Russian researchers, mainly over the past 20 years, on the study of the main biological and ecological characteristics and productivity of species and cultivars depending on their cultivation area in the Northern, Northwestern, Central, Volga-Vyatka and Ural economic regions of the Non-Chernozem zone of Russia. It has been established that perennial grasses of the Legume family are cosmopolitan due to the good moisture content of the soil of the territory and the low demands of plants for heat. Cultivation of different types and varieties allows you to get cheap, high-yielding bulky feed (hay, haylage, silage). The quality indicators of feed are influenced by the level of energy and protein saturation, which varies depending on the type, variety of legumes, methods of use (pasture, mowing) and the time of harvesting of herbage. The low protein content in animal feed leads to a deterioration in digestibility, a decrease in feed intake and a weakening of the nutri-

tional parameters of milk and meat. The advantages of species and cultivars of legumes vary greatly depending on the soil and climatic conditions of the areas of cultivation, which does not allow us to draw an unambiguous conclusion about the value of a particular species and variety, to guarantee an annual harvest for forage. This review may be useful for organizations engaged in the search for species and varieties of the Legume family that are more adapted to environmental factors to justify the expediency of their use in production for feed purposes.

Keywords: *clover, alfalfa, goat's rue, creeping clover, hybrid clover, meadow clover, cultivars, productivity*

***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: Pak L. N., Ivanov D. A., Rublyuk M. V. Perennial grasses of the legume family (*Fabaceaes* L.) – as the main basis for the development of fodder production in the Non-Black Earth Region (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):754–769. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.754-769

Received: 08.04.2024 Accepted for publication: 16.09.2024 Published online: 30.10.2024

В настоящее время в условиях действующих западных санкций Нечерноземная зона Российской Федерации имеет большое значение в обеспечении продовольственной безопасности страны. Она характеризуется огромным разнообразием природно-географических условий, менее благоприятных, чем в центральных и южных регионах нашей страны, но, тем не менее, позволяющих осуществлять высокоразвитое интенсивное земледелие. Нечерноземная зона включает Северный, Северо-Западный, Центральный и Волго-Вятский экономические районы, часть Уральского экономического района (Пермский край, Свердловскую область и Удмуртию). Основными отличительными особенностями, характеризующими агроклиматические ресурсы Нечерноземья, являются достаточная или избыточная обеспеченность сельскохозяйственных культур влагой и недостаточная или умеренная обеспеченность их теплом. Каждый из экономических районов имеет свои агроклиматические особенности и потенциал, что влияет на уровень развития в них сельскохозяйственной отрасли. Для Северного экономического района характерно значительное превышение количества осадков над объемом испарения влаги, что приводит к заболачиванию территории при недостатке тепла. Агроресурсный потенциал района невелик. Здесь возможно выращивание неприхотливых сельскохозяйственных культур с коротким периодом вегетации (40–90 дней) при сумме активных температур более 10 °С – 1200–1400 °С. В Северо-Западном, Волго-Вятском, Центральном и Уральском экономических районах период возможной вегетации растений возрастает с севера на юг от 90–110 дней (сумма активных температур от 1400–1600 °С) до 110–140 дней (сумма активных температур 1600–2200 °С). Вместе с тем, вегетационный период сокращается с юго-запада на северо-восток от 140–145 до 120–125 дней, при этом сумма активных температур снижается от 2200–2300 °С до 1700–1800 °С. В Волго-Вятском, Центральном и Уральском экономических районах наблюдается значительная неравномерность выпадения осадков по годам и в течение вегетационного сезона. Периоды переувлажнения нередко сменяются периодами сезонной засухи.

Согласно последним данным, общая площадь земель сельхозназначения Нечерноземья европейской части России превышает 71 млн га, из которых 37,6 млн га приходится на сельхозугодья [1]. Имеющиеся земельные ресурсы и специфика территории Нечерноземья позволяют получать неплохие урожаи кормовых культур (корнеплодов, однолетних и многолетних трав, кукурузы на корм), поэтому одним из основных направлений специализации предприятий сельского хозяйства уже на протяжении довольно продолжительного периода времени остается животноводство [2].

Среди посевных площадей кормовых культур доминирующими являются многолетние травы, которые составляют основу развития полевого и лугового кормопроизводства данной территории и обеспечивают животноводство непревзойденными по своим питательным качествам кормами, богатыми растительным белком, витаминами и минеральными солями. Зеленая масса многолетних бобовых трав используется как сочный зеленый корм, а также для заготовки сена и травяной витаминной муки, сенажа и силоса, гранул и брикетов.

Цель работы – обзор опубликованных работ, преимущественно за последние 20 лет, посвященных многолетним кормовым травам семейства Бобовые, некоторым видам рода Клевер (клеверу луговому, клеверу гибридному

и клеверу ползучему), описанию их основных биолого-экологических особенностей и продуктивности в зависимости от экономического района возделывания с целью выделения наиболее перспективных видов и сортов для использования на кормовые цели.

Материал и методы. Отбор и систематический обзор научной литературы по теме был выполнен в результате поиска по ключевым словам в научных электронных библиотеках и поисковых системах: eLIBRARY.RU, Web of Science, Scopus и Google Scholar. Ключевые слова запроса: бобовые травы, клевер, клевер луговой. Поиск не ограничивался конкретными годами изданий. При анализе публикаций на начальном этапе проводили просмотр только заголовков и аннотаций, в дальнейшем – анализ полных текстов отобранных статей. В результате поиска окончательно отобрали 63 научные публикации, преимущественно последних лет, которые вошли в список использованной литературы.

Основная часть. *Виды семейства Бобовые, их биологические особенности, продуктивность.* Достоинства многолетних бобовых трав связаны с такими биологическими особенностями, как быстрое отрастание побегов, хорошая отзывчивость на удобрения, высокая продуктивность и долголетие [3, 4]. Многочисленные исследования подтверждают, что по сравнению с другими травянистыми кормовыми культурами они обеспечивают стабильно устойчивую урожайность фитомассы (в пределах физиологических потребностей, закрепленных в генотипе растений), сбалансированную по питательным веществам, способным поддерживать выполнение всех физиологических процессов животных в течение длительного времени [5, 6, 7].

Среди многолетних бобовых трав в большинстве районов Нечерноземной зоны для создания высокопродуктивных лугов и культурных пастбищ используются (как в смеси со злаковыми травами, так и в чистом виде) традиционные (клевер луговой (красный) (*Trifolium pratense* L.), люцерна изменчивая (*Medicago sativavaria*)) и мало распространенные виды (клевер гибридный (розовый) (*Trifolium hybridum* L.), клевер ползучий (белый) (*Trifolium repens* L.), козлятник восточный (*Galéga orientális* Lam.)), относящиеся к группе несилосующихся и трудно силосующихся трав, но в то же время богатых растительным белком с незаменимыми аминокислотами, каротиноидами, витаминами и другими важными элементами питания жвачных животных [8, 9, 10].

Имеются сведения, что урожайность зеленой и сухой фитомассы в зависимости от периода пользования (1–3-летнего и 4–6-летнего) достигает у козлятника восточного – 27,8–75,9 и 8,1–22,9 т/га, люцерны изменчивой – 19,6–51,5 и 5,3–15,8 т/га, клевера лугового – 32,2 и 9,0 т/га соответственно [11]. Причем максимальное накопление урожайности зеленой и сухой массы у козлятника восточного отмечается к 4–6-му году пользования, у люцерны изменчивой – к 5-му году пользования. В течение вегетационного периода скашивание растений люцерны изменчивой и козлятника восточного до фазы «бутонизация» приводит к существенной потере урожая, т. к. урожайность сырой и сухой биомассы возрастает, начиная с периода «отрастание – начало цветения». У клевера лугового недобор урожайности при раннем скашивании в 2 раза меньше, чем у предыдущих культур из-за того, что бóльшая часть биомассы накапливается в фазе «стеблевание». В зависимости от вида кормовых растений содержание основных элементов питания в фитомассе указанных трав варьирует в широких пределах. По накоплению сухого вещества клевер луговой (1-2-летнего периода пользования) почти не уступает козлятнику восточному (1–3-летнего периода пользования) и практически наполовину превышает люцерну изменчивую (1–3-летнего периода пользования). По биохимическим параметрам (содержание сырой клетчатки, протеина, жира и золы) козлятник восточный выделяется содержанием сырого протеина (21,2 % при норме не менее 12–17 %), клевер луговой – жира (6,2 %) и золы (7,2 %), козлятник восточный и люцерна изменчивая – клетчатки (27,7–35,6 % при норме не менее 21–26 %) [11, 12, 13]. Важным показателем продуктивности кормовых культур является суммарный выход кормовых единиц с гектара, который у козлятника восточного может достигать 14,74 т/га, люцерны изменчивой – 9,4 т/га, клевера лугового – 7,44–10,22 т/га [11, 12, 13].

Род Клевер, виды, сорта, особенности, продуктивность. Ведущей кормовой культурой в полевых севооборотах Нечерноземной зоны остается род Клевер (*Trifolium* L.), в котором центральное место занимает клевер луговой (красный) [14].

Особенностью вида является высокая продуктивность, сбалансированный состав зеленой массы, устойчивость к основным болезням и вредителям [15]. Имеются сведения, что в малоснежные холодные зимы в северных районах зоны клевер луговой может вымерзать и выпадать из травостоя [16]. К настоящему

времени в государственный реестр входят и допущены к возделыванию в различных регионах нашей страны 117 сортов клевера лугового[1], созданных различными методами как в результате внутривидовой гибридизации, полиплоидии (сорта Марс, Стодолич, Ратибор, Добрыня, Метеор, Памяти Лисицына), мутагенеза (сорт Трио), методами отбора кислотоустойчивых генотипов и создания сортомикробных систем, так и другими [17]. Не все из этих сортов используются в производстве. Возможно, это связано с недостатком достоверной информации о сортах.

Ценными, но менее распространенными видами клеверов, являются клевер ползучий и клевер гибридный [18]. Первый в луговом кормопроизводстве занимает особую нишу, т. к. отличается хорошим отрастанием после скашивания и стравливания, устойчивостью к вытаптыванию и длительному затоплению, долголетием (сохраняется в травостое до 6–8 лет). Это достаточно зимостойкий и морозоустойчивый вид, по сравнению с клевером луговым характеризуется бóльшей устойчивостью к низким температурам. В засушливые годы страдает от недостатка влаги сильнее, чем клевер луговой [19]. Хорошо растёт и развивается на различных типах почв в широком диапазоне кислотности и в разных климатических зонах. Наиболее известные сорта клевера ползучего – Белогорский 1, Битунай, ВИК 70, Луговик, Волат, Парус, Смена, Юбилейный [20].

Одним из перспективных и менее прихотливых видов клевера является клевер гибридный, который распространён пока гораздо меньше, чем клевер луговой, хотя по многим параметрам его превосходит. Клевер гибридный возделывают, в основном, в районах неблагоприятных для произрастания клевера лугового [21]. Он отрастает несколько раньше клевера лугового и по сравнению с ним сильнее страдает от засухи. Вид устойчиво долговечен, отлично может произрастать на торфянистых, тяжелых глинистых, холодных почвах с повышенной кислотностью, обладает высокой способностью к фиксации азота, биомасса характеризуется высокой питательностью, хорошим соотношением аминокислот, обеспеченностью минеральными веществами. Он находит широкое применение в пастбищном кормопроизводстве, т. к. лучше отрастает после стравливания, чем после скашивания [21]. Его тонкие стебли позволяют быстрее высушить растения за ограниченный промежуток времени. Сено получается нежное и не чернеет. Считается, что дальнейшая селекция клевера гибридного должна идти не только по пути повышения урожайности кормовой массы, но и в направлении улучшения засухоустойчивости и повышения содержания сырого протеина [22]. Созданные сорта клевера гибридного – Даубяй, Красноуфимский 4, Курцевский, Ладога, Ломиай, Лужанин, Марусинский 488, Маяк, Новатор, Первенец, Северодвинский 326, Смоленский, Фалей, Фламинго, Фрегат, Эос[2].

Благодаря инновационным разработкам Центрального селекционного центра ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» в 2021 году коллекция сортов рассматриваемых видов клевера насчитывала более 1000 образцов. Отмечено, что сорта российской селекции последнего поколения по своим качественным характеристикам не уступают лучшим зарубежным образцам, а по ряду признаков (зимостойкости, устойчивости к кислотности и засоленности почвы, фитоценотической совместимости в травосмесях) превосходят их. Они предназначены для выращивания во всех регионах страны [23]. Среди них распространенные высокопродуктивные сорта клевера лугового – ВИК 7, тетраплоидный ВИК, ВИК 77, Алтын, Топаз, Ранний 2, Трио, Марс, Надежный, Оникс; клевера ползучего – Юбилейный, ВИК 70, Луговик; клевера гибридного – Маяк, Первенец, Новатор. Их общей положительной особенностью является эффективное использование климатических ресурсов района выращивания. Однако каждый из них отличается четко выраженной экологической индивидуальностью, симбиотической активностью, разными сроками созревания, режимами использования и формирования урожайности (достигающей в среднем 10–12 т/га (по сухому веществу), что характеризует такие травостои, как высокопродуктивные). Поэтому они занимают различные ниши в фитоценозах и возделываются в соответствии с их сортовыми особенностями [24].

[1]Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений. [Электронный ресурс]. URL: https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/ (дата обращения: 21.03.2024).

[2]URL: https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/; Парахин Н. В., Кобозев И. В., Горбачев И. В., Лазарев Н. И., Михалев С. С. Кормопроизводство: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по агрономическим специальностям. М.: КолосС, 2006. 432 с. URL: https://royallib.com/read/nv_kobozev_iv_gorbachev_iv_i_dr_parahin/kormoproizvodstvo.html?ysclid=m163rqcy9i536018633#20480

Несмотря на достигнутые успехи в работе селекционно-семеноводческих центров страны, сравнительная оценка видов и имеющихся сортов клевера (*Trifolium* L.) в различных региональных почвенно-климатических и агротехнологических условиях территории Нечерноземной зоны до сих пор остается актуальной, поскольку неизвестно как поведут себя виды и сорта клевера на фоне влияния многовековых и внутривековых изменений климата, непредсказуемости погодных условий предстоящих вегетационных периодов [25, 26, 27]. Считается, что доля сорта в формировании величины и качества урожая возрастает с 20–40 до 70 % и более. Поэтому актуальность «правильного» подбора не только видов, но и сортов, климатически и экологически дифференцированных, способных реализовывать свой продукционный кормовой потенциал в конкретных меняющихся условиях района возделывания хозяйствующего субъекта, сохраняется.

Многолетние исследования, проведенные на территории Северного экономического района Нечерноземья, показали, что скороспелые сорта клевера гибридного (Лужанин), клевера ползучего (ВИК 70) и клевера лугового (Котласский и Нива) незначительно различаются по срокам наступления фенофаз [28]. Клевер гибридный Лужанин на фоне остальных клеверов заметно выделяется долголетием и устойчивостью к механическим воздействиям, меньшей требовательностью к условиям внешней среды (устойчив к зимним морозам и весенним заморозкам, хорошо переносит кислую реакцию почвы и временное затопление). Клевер ползучий ВИК 70, начиная со второго года жизни, имеет раннее отрастание, устойчивость к поздневесенним заморозкам, механическим нагрузкам, низкому скашиванию. Зимостойкость указанных видов и сортов клевера достигает высоких показателей (79,0–85,0 %). По урожайности сухой массы, выходу с 1 га кормовых единиц, обменной энергии и сбору сырого протеина (7,2–9,8 т/га; 3,7–5,0 корм. ед.; 84,1–82,6 ГДж; 0,9–1,2 т/га соответственно) клевер луговой превосходит остальные виды клевера. По кормовой ценности к клеверу луговому близок клевер гибридный (сбор сырого протеина составляет 1,1 т/га).

Испытание сортов клевера гибридного (Маяк, Первенец и Новатор) и клевера ползучего (ВИК 70 и Луговик) коллективом авторов под руководством М. Ю. Новосёлова [29] в Центральном экономическом районе Нечерноземной зоны показало, что в целом они имеют высокую продуктивность по сухому веществу (7–12 т/га) и содержанию сырого протеина (17–22 % по укосам). Особое внимание ученых привлекает среднеспелый и зимостойкий сорт Новатор клевера гибридного, созданный в 2020 году и допущенный к использованию в 2022 году. Особенностью сорта является способность за вегетационный период сформировать два-три укоса зелёной массы урожайностью 31,1–66,4 т/га, сена – 6,73–14,6 т/га. Облиственность данного сорта по укосам колеблется от 51 до 68 %. Содержание сырого протеина в сухом веществе надземной массы достигает 169–223 г/кг, сырой клетчатки – 139–275 г/кг.

Сравнение сортов отечественной и зарубежной селекции на Центральной экспериментальной базе ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» (клевер луговой – Ранний 2 (Россия), Працауник (Беларусь), Витебчанин (Беларусь), Пеликан (Россия), Марс (Россия), Стодолич (Россия), Кудесник (Россия), Янтарный (Беларусь), клевер ползучий – ВИК 70 (Россия), Луговик (Россия), Steinacker (ФРГ) и клевер гибридный – Первенец (Россия), Фрегат (Россия)) позволило определить, что минимальным процентным содержанием сухого вещества в кормовой массе характеризуется сорт Стодолич клевера лугового [13]. По содержанию сырой клетчатки в сухом веществе практически все виды и сорта (кроме сорта Луговик клевера ползучего – 17,6 %) соответствуют норме, установленной для высокопродуктивных животных (21–23 %). Высоким содержанием сырого жира, сырой золы характеризуются образцы клевера ползучего (4,9–6,1 и 7,0–9,5 % соответственно). По содержанию сырого протеина все сорта соответствуют нормам кормления сельскохозяйственных животных (11,4–22,9 %). Лучшим по сбору сырого протеина отмечен сорт Первенец клевера гибридного (1,85 т/га) с урожайностью сухой массы до 8,2 т/га. Сорт Луговик клевера ползучего немного уступает сорту Первенец клевера гибридного по сбору сырого протеина (1,65 т/га). По высоте растений и скороспелости выделяются сорта: Первенец (75 см и 49 дней соответственно) – клевера гибридного; Ранний 2 (82 см и 50 дней), Янтарный (85 см и 51 день), Кудесник (92 см и 52 дня) и Пеликан (79 см и 52 дня) – клевера лугового. Среди трех видов клевера лучшим по качеству корма (содержанию сырой клетчатки, протеина, жира и золы) и скороспелости выделяется клевер ползучий (сорта Луговик, ВИК 70), который отличается повышенной облиственностью

растений и наличием тонких и мягких стеблей. Наибольшую урожайность зелёной массы имел сорт Луговик – 39,9 т/га.

В некоторых работах [8, 30] отмечается сорт Марс клевера лугового, который в Подмосковье хорошо сохраняется в течение трех лет выращивания. Клевер ползучий (сорт ВИК 70) в этом районе отличается неустойчивыми травостоями, слабой конкурентностью при сенокосном использовании, хотя обладает способностью быстро реагировать на использование имеющихся ресурсов, в частности влаги, что позволяет ему быстро заполнять свободные пространства. Клевер ползучий (сорт Волат) характеризуется высокой полевой всхожестью – 35,0–62,0 %, в то время как клевер луговой (сорт ВИК 7) – низкой (25,6–39,7 %). При сравнении указанных видов и сортов клевер луговой ВИК 7 выделяется быстрым темпом роста после появления всходов и высокой плотностью травостоя в первый год пользования. Клевер луговой независимо от увлажнения накапливает больше фитомассы, чем клевер ползучий. Продуктивность третьего года пользования клевера лугового резко падает, у клевера ползучего она не снижается, даже при неблагоприятных условиях.

Испытание клевера лугового (сорт Трио) и клевера гибридного (сорт Первенец) в Уральском экономическом районе Нечерноземной зоны рядом авторов позволило установить, что раннее и компактное цветение независимо от погодных условий наступает у клевера лугового. Хотя более высокую пластичность и отзывчивость на погодно-климатические факторы имеет клевер гибридный [31].

Многолетний опыт выращивания кормовых трав рода Клевер показывает, что в условиях Нечерноземной зоны России до сегодняшнего дня большая роль отводится клеверу луговому.

Клевер луговой, сорта, особенности, продуктивность. Клевер луговой является стабильно традиционной травяной культурой, отличительной особенностью которого является широкая модификационная изменчивость сортов, а результативным показателем морфобиологических проявлений сорта – его продуктивность [32].

Имеются сведения, что сорта клевера лугового ВИК 7, Марс, Ранний 2, Кретуновский, Дымковский, Грин, Шанс, Фаленский 86, Витязь и Топаз отличаются выраженной экологической индивидуальностью, разными сроками созревания. Они способны сформировать до 8–13 т/га сухого вещества, обеспечить сбор 2,0–2,5 т/га протеина, накопить в почве порядка 120–150 кг биологического азота [33].

В последние годы все большее внимание уделяется тетраплоидным сортам клевера лугового (Близард, Атлантис, Весна, Ветеран, ВИК 84, Витязь, Делец, Добрыня, Илте, Кудесник, Марс, Метеор, Памяти Лисицына, Стодолич, Тайлен, Тайфун, тетраплоидный ВИК), обладающим бóльшей зимостойкостью (95–97 %), засухоустойчивостью, устойчивостью к основным болезням (антракнозу, пятнистости, корневым гнилям), меньшим снижением продуктивности во второй год пользования и относительным долголетием (сохраняются в травостое на третий-четвёртый годы выращивания) по сравнению с диплоидными образцами [34]. Тетраплоидные сорта превосходят диплоидные по урожайности зеленой (на 19,4 %) и сухой массы (на 16,2 %), сбору сырого протеина (на 15 %) [35, 36].

Известно, что раннеспелые зимостойкие сорта клевера лугового нового поколения (Трио, Алтын, Орлик и другие) созревают на 10–30 дней раньше традиционно возделываемых позднеспелых сортов при меньшем потреблении тепла на 280–300 °С, эта особенность позволяет их возделывать в более северных регионах Нечерноземья [37]. Благодаря засухоустойчивым сортам Орлик и Алтын, расширяются южные границы распространения клевера лугового**.** Сорта Марс, ВИК 7, Ранний 2, Топаз перспективны для возделывания на почвах с повышенной кислотностью. Сорта Ранний 2 и Трио отличаются урожайностью кормовой массы (12 и 10 т/га сухого вещества соответственно) и рекомендуются для возделывания в Северо-Западном, Центральном, Средневолжском районах (Ранний 2) и в Северном, Волго-Вятском, Северо-Западном и Уральском районах (Трио) Нечерноземья страны [38].

Использование сортов Добрыня, Памяти Лисицына, Орлик, Трио, Топаз, Надежный и Оникс обеспечивает получение 35–45 т/га зеленой массы и 8–10 т/га сухого вещества за двух- трехлетний цикл пользования травостоев, сорта ВИК 7, ВИК 77, Трио, Топаз, Надежный и Оникс имеют наиболее высокую продуктивность на второй год жизни [39]. Но эти данные противоречивы по субъектам Центрального экономического района Нечерноземья. Так, в ряде работ отмечается наибольшее падение урожайности зеленой массы от первого ко второму году пользования у сорта Трио (58,63 и 38,8 т/га соответственно) и сорта ВИК 7 (49,35 и 33,06 т/га) [40]. Наиболее высо-

ким выходом зеленой массы (37,20–39,58 т/га), сухого вещества (9,05–9,70 т/га) обладали сорта Трио, Надежный, Топаз и Оникс [3, 41], по выходу энергии и кормовых единиц – ВИК 7, Топаз, Надежный, Орлик и Добрыня [42]. Сорт ВИК 7 по содержанию кормовых единиц (4,19 т/га) и обменной энергии (62,3 ГДж/га) уступает сортам Орлик, Памяти Лисицына, Добрыня. Он характеризуется содержанием сырого протеина в сухом веществе – до 17,3 %, клетчатки – около 26,0 % [43]. Обеспеченность 1 корм. ед. переваримым протеином у ВИК 7 небольшая – 166,3 г.

В ряде работ при сравнении использования раннеспелого тетраплоидного сорта Марс с районированным в Центральном районе Нечерноземной зоны среднеспелым сортом ВИК 7, созданным в результате внутривидовой гибридизации, отмечено, что первый сорт, с возрастом, практически не снижает показатели роста и развития в силу своих биологических особенностей [44, 45, 46]. Он остается более устойчивым к поражению листовыми болезнями в первый и второй годы пользования травостоем, быстрее отрастает весной и после укоса. Это преимущество дает возможность дополнительно получить достаточное количество зеленой массы и практически вдвое повысить энергетическую эффективность.

На достоинства использования современных зимостойких сортов (Трио, Марс, Ранний 2) клевера лугового указывает ряд других авторов [47, 48]. Продуктивность зеленой массы клевера лугового (сортов Ранний 2, Марс, Трио) в среднем по годам пользования составила 41,0–63,5 т/га, сухого вещества – 7,95–10,6 т/га. Наивысшая продуктивность зеленой массы отмечена у сорта Марс – 68,4 т/га в первый год и 58,86 – во второй год пользования. По содержанию сырого протеина в зеленой массе (22,60 %), количеству обменной энергии (11,70 МДЖ/кг), наличию кормовых единиц в 1 кг корма (1,11 корм. ед./кг) сорт Ранний 2 имеет преимущества перед остальными сортами. По количеству перевариваемого протеина все сорта (Ранний 2, Марс и Трио) имели высокие показатели (140 г/корм. ед., 141 и 139 г/корм. ед. соответственно). Однако другие исследователи считают сорт Ранний 2 худшим для производства энергонасыщенных кормов (7,1 ГДж/га) в Центральном районе Нечерноземья [49]. Тем не менее, использование этих сортов наряду со среднеспелыми и позднеспелыми сортами, позволит поднять качество кормов [50].

Неплохие результаты по продуктивности зеленой массы клевера лугового получены у сорта Венец (62,24 т/га – 1 г. п., 57,94 т/га – 2 г. п.) [28]. Содержание сырого протеина в зеленой массе сорта составило 20,85 %, количество обменной энергии – 11,78 МДЖ/кг. Кормовых единиц в 1 кг корма – 1,09, количество перевариваемого протеина – 133 г/корм. ед.

Есть сведения, что раннеспелый сорт Янтарный и позднеспелый Новичок формируют наиболее устойчивые агрофитоценозы [28]. В первом укосе они имели высокий стеблестой (65,4–66,5 см). Тетраплоидный сорт Янтарный хорошо отрастает после первого укоса, особенно в годы с неблагоприятным увлажнением, и в течение вегетационного периода равномерно обеспечивает поступление укосной массы. Сорт Новичок отличается хорошей зимостойкостью, урожайностью по зеленой и сухой массе, низкой поражаемостью клеверным раком.

Наиболее быстрыми и эффективными по заполнению экологических ниш являются сорта: Янтарный, Ранний 2, Витебчанин и Дымковский, а более облиственными сортами – позднеспелые Топаз и Стодолищенский [28].

Из сортов Янтарный, Новичок и Стодолич, имеющих высокую урожайность сухой массы, выделяется Новичок, как обладающий наивысшим сбором сырого протеина – 2053 кг/га [28]. Худшими для производства энергонасыщенных кормов (до 8,0 ГДж/га) в Центральном районе Нечерноземной зоны являются сорта Стодолищенский и Дымковский [22, 51]. Среднеспелый и высокозимостойкий сорт Стодолич характеризуется устойчивостью к фузариозу клевера.

Среди сортов клевера лугового, возделываемых в Северном районе Нечерноземья России, выделяются первый селекционный сорт Котласский (имеет высокий потенциал урожайности зеленой массы), сорта конца прошлого столетия – Север, Двина, Беломорский (хорошо адаптированы к экстремальным северным условиям) и Нива, Корифей, Приор, Таежник (зимостойкие, способны давать высокий урожай зеленой массы) [52, 53]. При комплексной оценке сортов, сорт Таежник, имея вегетационный период 63–65 суток на формирование зеленой массы, является высокопродуктивным по укосной массе (9,2–9,9 т/га) и сбору протеина (1,20–1,35 т/га), выделяется высокой урожайностью сена, бóльшей высотой растений и отличной устойчивостью к полеганию. Продолжительным периодом роста характеризуется сорт Розета, более скороспе-

лыми сортами являются Аллюр и Ранний 2, для которых характерна наибольшая облиственность растений, хорошая и почти отличная зимостойкость, высокая устойчивость к полеганию. Меньшее повреждение вредителями отмечено у сортов Трио и Таежник. В целом хорошо себя показали Трио, Ранний 2 и Таежник, последние два сорта выделились по сбору сырого протеина (1,15 и 1,24 т/га соответственно).

В Северо-Западном экономическом районе Нечерноземья ряд сортов (Дымковский, Седум, Добряк, Волосовский 86**)** обеспечили высокую урожайность сырой массы (8,1–14,7 т/га) [54]. В кормовой массе сортов Добряк и Волосовский 86 содержание основных питательных веществ соответствует зоотехническим нормам (14,35–21,58 %), необходимым при кормлении высокопродуктивного скота [55, 56, 57].

В условиях Волго-Вятского района Нечерноземной зоны России у сорта Ранний 2 по сравнению сортом ВИК 7 отмечено преждевременное начало цветения (на 7 дней) и его завершение. Высокопродуктивными для района являются сорта клевера лугового Кудесник и Мартум. Первый отличился высокой зимостойкостью, двуукосностью, уборочной спелости кормовой массы достигает на уровне ультрараннеспелого стандарта Трио, высокопродуктивен по сухой массе (9,52–11,88 т/га), с бóльшей устойчивостью к корневым гнилям и раку [58, 59], второй сорт Мартум выделился по сбору сухого вещества в благоприятные годы – 8,37 т/га. В неблагоприятные годы сбор сухого вещества у обоих сортов не превышал 4 т/га. В среднем, самый высокий сбор сухого вещества клевера лугового получили у сорта Кудесник при уборке первого и второго укосов в фазу «полное цветение», наименьший – при ранних сроках скашивания (первого – в фазу «начало бутонизации», второго – в фазу «начало цветения»). Высокая питательность кормовой массы из клевера лугового в первом укосе (по содержанию сырого протеина, сырого жира и обменной энергии в 1 кг сухого вещества) обеспечивается при скашивании в фазу «начало бутонизации». В зеленой массе вторых укосов концентрация сырого протеина и обменной энергии возрастала, клетчатки – снижалась. Наибольшим выходом обменной энергии сорт выделился в первый год пользования – 86,3 ГДж/га.

Сорт Ратибор также считается высокозимостойким для этого района, характеризуется двуукосностью, высокой продуктивностью (урожайность сухой массы сорта – 11,01 т/га), обладает высокой толерантностью к почвенной кислотности (токсическому действию ионов Al^{3+} и H^{+}), относится к группе высокоустойчивых [28].

При испытании других сортов клевера лугового разных сроков созревания (раннеспелых Кретуновский, Шанс, среднеспелых – Грин и Дымковский, позднеспелых – Фаленский 1 и Грин) выделяются сорта Шанс и Грин [58, 59], которые имеют повышенную кислотоустойчивость, незначительное снижение кормовой продуктивности в стрессовых условиях и высокий сбор сухого вещества (Грин – 10,9 т/га, Шанс – 10,6 т/га).

Сравнение сортов клевера лугового различного эколого-географического происхождения по основным морфо-биологическим (зимостойкость, продолжительность вегетационного периода, высота растений, мощность травостоя) и хозяйственно значимым показателям (сбор сырой и сухой фитомассы, урожайность семян) позволило также выделить сорта Кармин, Гефест, Стодолич, Стодолищенский, Светлячок, которые характеризуются высокой зимостойкостью (более 87 %). По урожайности зеленой массы выделяются сорта Кармин, Трио и Стодолич, сбору сухого вещества – Кармин и Гефест [59].

В Уральском экономическом районе Нечерноземной зоны России среди сортов клевера лугового Дракон, Грин, ВИК 77, Венец и Глобал наибольшей урожайностью зеленой массы выделились – Грин (34,8 т/га) и Венец (33,1 т/га). Сорт Грин имел высокую урожайность, даже в годы неблагоприятные по влагообеспеченности, отличался по выходу сухого вещества среди всех сортов [60, 61]. Среди испытанных сортов российской и иностранной селекции клевера лугового (Дымковский, ВИК 77 и Ранний 2 – Россия; Близард – Германия; Ганимед и Метис – Дания) по кормовой продуктивности выделились сорта Метис и Близард (урожайность 5,3–5,7 т/га сухой массы), укосной спелости они достигают на 56–61-й день. Получению высокой урожайности способствуют увеличение облиственности до 44–55 % и массы одного стебля до 4,9–6,2 г. Содержание сырой золы у сортов колеблется в пределах 7,2–8,1 %, сырого протеина – 12,1–17,6 %. Наименьшее содержание сырой клетчатки отмечено у сорта ВИК-77 (26,8 %), наибольшая урожайность сухой массы – у Близард (7,4 т/га) [62, 63]. Исследования

урожайности зеленой, сухой массы и семян других сортов клевера лугового (Дипло, Лестрис, Кудесник) выявили их высокую зимостойкость (4,5 балла). У сортов Дипло, Лестрис и Ранний 2 укосная спелость наступает за 58–63 дня, у Дымковский, ВИК 77 и Кудесник – за 66–70 дней. По урожайности сухой массы выделились сорта Дипло, Ранний 2 и Кудесник (6,2–6,8 т/га). Сорт Ранний 2 независимо от возраста травостоя и погодных условий имел стабильную урожайность зелёной и сухой массы. Сорта Дымковский и Кудесник отличились наибольшим выходом обменной энергии (51,2 и 55,0 ГДж соответственно), переваримого протеина (0,44 и 0,46 т) и кормовых единиц (3,79 и 4,09 тыс.). Наиболее выравненное распределение урожая между укосами отмечено у сорта Кретуновский.

Заключение. Обобщая исследования ученых по изучению бобовых кормовых трав, можно отметить их космополитичность в пределах Нечерноземной зоны страны. Такому распространению послужило наличие огромных территорий пахотных земель, изобилие разбросанных небольшими островками между лесами и болотами лугов и пастбищ, хорошая увлажненность почв, а также небольшая требовательность растений к теплу.

С агроэкономической точки зрения, возделывание многолетних бобовых трав позволяет получить дешевые, высокоурожайные объемистые корма (сено, сенаж, силос), которые по показателям общей питательности и соотношению отдельных веществ могут полностью удовлетворить потребности скота.

Особую значимость в формировании качественных показателей корма играет уровень энерго-протеинонасыщенности, который меняется в зависимости от вида, сорта бобовых трав, способов использования (пастбищное, укосное), времени уборки травостоев. Низкое содержание белка в кормах животных приводит к ухудшению перевариваемости, снижению потребления корма и ослаблению питательных показателей молока и мяса.

Основным источником пополнения запасов протеина в рационах животных являются кормовые бобовые травы за счет деятельности клубеньковых бактерий, обитающих на корнях и усваивающих атмосферный азот. Азот – это обязательная составная часть белка, наибольшее количество которого содержится в листьях, стеблях и зерне бобовых растений. Поэтому для получения энерго-протеиново-насыщенных низкозатратных кормов в разные по погодным условиям годы при возделывании многолетних бобовых трав обращают внимание на эколого-биологические особенности каждого вида и сорта бобовой культуры.

Проведенные исследования показали – изученные виды и сорта клевера сильно различаются по продуктивности, питательности, продуктивному долголетию, их достоинства сильно варьируют в зависимости от почвенно-климатических условий районов возделывания, что не позволяет сделать однозначного вывода о ценности конкретного вида и сорта, гарантировать получение ежегодного урожая для заготовки кормов. Поэтому необходимо продолжить изучение как традиционных, так и новых видов, и сортов бобовых трав, их реакции на абиотические условия конкретного региона возделывания в пределах Нечерноземной зоны РФ.

Список литературы

1. Ганенко И., Максимова Е. Нечерноземная треть страны. 30 регионов производят четвертую часть российской сельхозпродукции. Агроинвестор. 2023;(11):2.
Режим доступа: https://www.agroinvestor.ru/markets/article/41324-nechernozemnaya-tret-strany-30-regionov-proizvodyat-chetvertuyu-chast-rossiyskoy-selkhozproduktsii/

2. Капсамун А. Д., Павлючик Е. Н., Иванова Н. Н. Многолетние бобовые травы на осушаемых землях Нечерноземья. Тверь: Тверской ГУ, 2018. 178 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=36441012 EDN: YNYSPB

3. Напреев К. В., Зайцева О. А. Урожайность современного сортимента клевера лугового на серых лесных почвах Брянской области. Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: мат-лы XX Международ. научн. конф. Брянск: Брянский ГАУ, 2023. С. 36–42.
Режим доступа: https://elibrary.ru/donlso?ysclid=m166g23mpa908816185 EDN: DONLSO

4. Прядильщикова Е. Н., Вахрушева В. В., Чернышева О. О. Многолетние травы пастбищного использования для адаптивного кормопроизводства Вологодской области. АгроЗооТехника. 2022;5(4):1.
DOI: https://doi.org/10.15838/alt.2022.5.4.1 EDN: TPELJJ

5. Благовещенский Г. В. Инновационный потенциал бобового разнообразия травостоев. Кормопроизводство. 2013;(12):8–10.

6. Благовещенский Г. В., Штырхунов В. Д., Конанчук В. В. Энерго-протеиновый потенциал трав и фуражных культур. Кормопроизводство. 2016;(2):21–23.

7. Косолапов В. М., Бондарев В. А., Клименко В. П. Повышение качества кормов из многолетних трав. Вестник российской академии сельскохозяйственных наук. 2008;(4):53–55.

8. Кутузова А. А., Проворная Е. Е., Цыбенко Н. С. Эффективность усовершенствованных технологий создания пастбищных травостоев с использованием новых сортов бобовых видов и агротехнических приемов. Кормопроизводство. 2019;(1):7–11. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36826282 EDN: YUSBZR

9. Мингалев С. К. Сравнительная продуктивность сортов многолетних бобовых трав в условиях Среднего Урала. Аграрный вестник Урала. 2016;12(154):57–61.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28362101 EDN: XWQVSJ

10. Тимошкина О. Ю., Тимошкин О. А. Селекция клевера ползучего в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020;15(4):55–60.
DOI: https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-55-60 EDN: CGHOOI

11. Капсамун А. Д., Павлючик Е. Н., Иванова Н. Н., Анциферова О. Н., Пушкина Л. В. Кормовая ценность многолетних бобовых трав, выращенных на осушаемых землях Нечерноземья. Современное состояние, приоритетные задачи и перспективы развития аграрной науки на мелиорированных землях: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Тверь: Тверской ГУ, 2020. С. 69–75.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=45718881 EDN: WMIVQX

12. Вагунин Д. А., Иванова Н. Н. Луговые сеяные агроценозы на основе перспективных многолетних трав в условиях Верхневолжья. Кормопроизводство. 2022;(5):3–7.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49496178 EDN: PFZHTI

13. Макаренков М. А., Козлов Н. Н., Комкова Т. Н., Коровина В. Л. Сравнительная оценка коллекционных образцов многолетних бобовых кормовых растений. Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сб. научн. ст. М.: ФГБОУ ДПО «Российская академия кадрового обеспечения АПК», 2021. Вып. 26(74). С. 35–43. DOI: https://doi.org/10.33814/MAK-2021-26-74-35-43 EDN: FHFWQA

14. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Продуктивность сортов клевера лугового в условиях Волго-Вятского региона. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2023;(1(66)):39–45. DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-66-1-39-45 EDN: KECGJT

15. Фигурин В. А. Выращивание многолетних трав на корм. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2013. 188 с.

16. Чухина О. В., Кулиничева А. Н., Ганичева В. В., Демидова А. И., Усова К. А., Куликова Е. И. Сравнительная оценка продуктивности различных сортов клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) в Вологодской области. Молочнохозяйственный вестник. 2020;(3(39)):94–108.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44109376 EDN: WYQPRY

17. Полюдина Р. И., Новоселов М. Ю. Изучение сортов клевера лугового различного типа спелости и плоидности. Адаптивное кормопроизводство. 2019;(2):17–25. DOI: https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-17-25 EDN: NQVGFD

18. Новоселов М. Ю., Дробышева Л. В., Зятчина Г. П., Писковацкая Р. Г., Толмачева Е. В., Старшинова О. А., Макаева А. М. Оценка кормовой продуктивности перспективных селекционных образцов многолетних клеверов и лядвенца рогатого. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(2):25–28.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32768048 EDN: YVJGZV

19. Юдина И. Н., Попова Л. Д., Ивасюк Е. В. Биологическая продуктивность клевера лугового и ползучего в смешанных посевах. Сб. науч. тр. Калужского филиала РГАУ-МСХА. Калуга: «Эйдос», 2004. Вып. 5. С. 131–134.

20. Трухан О. В. Клевер ползучий (*Trifolium repens* L.): биологические особенности, хозяйственное значение, сорта и приемы семеноводства при выращивании в травосмесях со злаковым компонентом. Адаптивное кормопроизводство. 2021;(3):71–87. DOI: https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2021-3-71-87 EDN: BMUIYA

21. Новосёлов М. Ю., Дробышева Л. В., Старшинова О. А., Иванова А. А., Рекашус Э. С., Одноворова А. А., Макаева А. М. Селекционеры ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса в развитии клеверосеяния России. Кормопроизводство. 2022;(7):34–41. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49841899 EDN: LOJNSF

22. Писковацкая Р. Г., Макаева А. М., Толмачева Е. В. Изучение адаптивного потенциала перспективных сортов и образцов лугопастбищных бобовых трав (*Trifolium repens* L., *Trifolium hibridum* L., *Lotus corniculatus* L.). Адаптивное кормопроизводство. 2016;(4):84–91. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27633141 EDN: XGSCHD

23. Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Развитие современной селекции и семеноводства кормовых культур в России. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;25(4):401–407.
DOI: https://doi.org/10.18699/VJ21.044 EDN: YDQZXJ

24. Шамсутдинов З. Ш. Селекция кормовых культур: достижения и задачи. Сельскохозяйственная биология. 2014;49(6):36–45. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2014.6.36rus EDN: TEPGCN

25. Мазин А. М. Оценка сортов клевера лугового /*Trifolium pratense* L./ иностранной селекции в коллекционном питомнике Псковского НИИСХ. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(2(35)):22–30. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46455317 EDN: CZBDKW

26. Спиридонов А. М., Мазин А. М. Сортовые особенности продуктивности клевера лугового в условиях Северо-Запада России. Аграрная Россия. 2020;(7):11–16. DOI: https://doi.org/10.30906/1999-5636-2020-7-11-16 EDN: WNLBNR

27. Спиридонов А. М., Мазин А. М. Продуктивность сортов клевера лугового в условиях северо-запада России. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023;(4(73)):9–15. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59074024 EDN: TDHAQD

28. Голубева О. А., Тимейко Л. В., Холопцева Е. С., Евстратова Л. П. Многолетние растения семейства бобовые (*Fabaceae* или *Leguminosae*) в агрофитоценозах Карелии. Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016;(6(159)):42–48. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26713472 EDN: WMOVSH

29. Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Новые сорта кормовых культур и технологии для сельского хозяйства России. Кормопроизводство. 2021;(6):22–26. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46679178 EDN: QRYDNS

30. Рекашус Э. С., Закабунина Е. Н., Хаустова Н. А. Общая адаптивная способность сортов клевера лугового. Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2019;(31(36)):11–16. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41255040 EDN: DDFIQR

31. Кузьменко И. Н. Особенности цветения сортов Пермский местный и Трио клевера лугового и сорта Первенец клевера гибридного. Аграрный вестник Урала. 2009;(6(60)):39–41. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12885383 EDN: KVZGEN

32. Лазарев Н. Н., Авдеев С. М. Долголетнее использование сеяных лугов. Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: мат-лы Международн. конгресса по кормам, посвящ. 100-летию ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса». М., 2022. С. 39–45. DOI: https://doi.org/10.33814/MAK-2022-29-77-39-45 EDN: DOUMRL

33. Новоселов М. Ю., Старшинова О. А., Дробышева Л. В., Зятчина Г. П. Оценка высокогетерозисных гибридов клевера лугового в полевых условиях. Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сб. научн. тр. ФГБНУ «ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса». М.: ООО «Угрешская Типография», 2017. Вып. 15(63). С. 28–34. Режим доступа: https://www.vniikormov.ru/pdf/mnogofunktcionalnoe-adaptivnoe-kormoproizvodstvo-15-63.pdf?ysclid=m16g0pal5t787381631

34. Новоселов М. Ю., Дробышева Л. В., Старшинова О. А. Результаты конкурсного сортоиспытания клевера лугового тетраплоидного и диплоидного типов. Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сб. научн. тр. ФГБНУ ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса». М.: ФГБОУ ДПО «Российская академия кадрового обеспечения АПК», 2022. Вып. 27(75). С. 9–15. DOI: https://doi.org/10.33814/MAK-2022-27-75-9-15 EDN: LDGOHO

35. Новоселов М. Ю., Новоселова А. С. Итоги и перспективы селекционной работы с клевером. Кормопроизводство. 1997;(2):39–42.

36. Фигурин В. А., Сунцова Н. П., Чеглакова О. А. Питательная ценность и продуктивность раннеспелых сортов клевера лугового при разных режимах использования. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015;(3(46)):38–42. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23434113 EDN: TSVAMJ

37. Новоселов М. Ю., Дробышева Л. В., Матвеева О. С., Зятчина Г. П., Старшинова О. А., Одноворова А. А., Засименко Е. М. Современные подходы в селекции клевера лугового для кормопроизводства России. Земледелие. 2014;(2):43–46. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21444550 EDN: SBHBBV

38. Новоселова А. С., Пайвина Т. Т., Пайвин Т. И. Подбор перспективных сортов и видов многолетних бобовых трав для лугопастбищных ценозов. Кормопроизводство. 2005;(12):21–24.

39. Писковацкая Р. Г., Макаева А. М., Рекашус Э. С. Тетраплоидный селекционный материал в создании нового сорта клевера гибридного. Адаптивное кормопроизводство. 2020;(4):21–29. DOI: https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2020-4-21-29 EDN: STYZQK

40. Башмакова Н. С., Филимонова Л. С., Зайцева О. А., Дьяченко В. В. Урожайность сортов клевера лугового в агроклиматических условиях Брянской области. Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: мат-лы XIX Международн. научн. конф. Кокино: Брянский ГАУ, 2022. Часть II. С. 64–70. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49296335&pff=1 EDN: LZEAET

41. Дьяченко В. В., Башмакова Н. С., Филимонова Л. С., Зайцева О. А., Дьяченко О. В. Продуктивность современного сортимента клевера лугового в агроклиматических условиях серых лесных почв Центрального региона. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022;(1):6–12. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48077978 EDN: WMMDIP

42. Дьяченко В. В., Зайцева О. А., Башмакова Н. С., Филимонова Л. С. Продуктивность сортов клевера лугового различного уровня плоидности в агроклиматических условиях серых лесных почв Брянской области. Вестник Брянской ГСХА. 2022;(1(89)):33–40. DOI: https://doi.org/10.52691/2500-2651-2022-89-1-33-40 EDN: GOOOUV

43. Башмакова Н. С., Напреев К. А., Дьяченко В. В., Зайцева О. А. Продуктивность сортов клевера лугового краткосрочного пользования на серых лесных почвах Брянской области. Современные тенденции развития аграрной науки: сб. научн. тр. Международн. научн.-практ. конф. Кокино: Брянский ГАУ, 2022. Часть I. С. 417–420. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49898477&pff=1 EDN: VPTZGZ

44. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Особенности роста и развития многолетних трав на основе клевера лугового тетраплоидного. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(3):247–255. Режим доступа: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.3.247-255 EDN: DPVBZE

45. Корнеева Е. М., Корнеев О. В. Особенности технологии возделывания тетраплоидного клевера лугового на семена в условиях мелиорированных афоландшафтов НЗ России. Мат-лы международн. практ. конф. Курск, 2005. С. 329.

46. Новосёлов М. Ю., Дробышева Л. В., Старшинова О. А., Одноворова А. А. Новый сорт клевера лугового Агат: селекция и основные хозяйственные характеристики. Кормопроизводство. 2023;(9):30–33. DOI: https://doi.org/10.25685/krm.2023.9.2023.004 EDN: OYBPFG

47. Павлючик Е. Н. Возделывание многолетних трав для создания зеленого и сырьевого конвейера. Кормопроизводство. 2007;(6):13–16.

48. Гладышева О. В., Ушакова Е. Ю., Михалёв В. Е., Полянский С. Я. Сорт – важнейший фактор устойчивой продуктивности клевера лугового и люцерны изменчивой в севооборотах адаптивно-ландшафтного земледелия Нечерноземной зоны РФ. Владимирский земледелец. 2017;(1(79)):24–26. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28984054 EDN: YKGSFB

49. Прудников А. Д., Рекашус Э. С. Сравнительная оценка продуктивности новых сортов клевера лугового в агроэкологических условиях Смоленской области. Вестник Орловского государственного аграрного универ-ситета. 2011;(4(31)):12–14. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18726584 EDN: PTUQMH

50. Старшинова О. А. Формирование нового высокопродуктивного тетраплоидного селекционного материла клевера лугового (*Trifolium pratense* L.). Современные решения в развитии сельскохозяйственной науки и производства: Междунар. саммит молодых учёных. Казань, 2016. С. 188–192. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27631037 EDN: XGQXDX

51. Новоселов М. Ю., Дробышева Л. В., Старшинова О. А. Влияние генетических различий и агроклиматических условий на кормовую продуктивность селекционных образцов клевера лугового. Достижения науки и техники АПК. 2022;36(4):41–46. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_41 EDN: BTDUBC

52. Корелина В. А., Батакова О. Б., Зобнина И. В. Создание исходного селекционного материала клевера лугового с высокими кормовыми качествами для условий северного региона. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022;17(3):287–298. DOI: https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-3-287-298 EDN: TKVRVN

53. Корелина В. А. Влияние абиотических факторов на семенную продуктивность клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) в условиях субарктической зоны РФ. Адаптивное кормопроизводство. 2019;(2):40–47. DOI: https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-40-47 EDN: XMSORX

54. Донских Н. А., Михайлова А. Г., Пивень М. Г. Сравнительная продуктивность разных сортов клевера лугового при возделывании на кормовые цели в условиях Ленинградской области. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021;(1(62)):17–26. DOI: https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-17-26 EDN: YDAONJ

55. Донских Н. А., Уманец М. С. Сравнительная оценка семенной продуктивности сортов клевера лугового в условиях Ленинградской области. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021;(3(64)):15–23. DOI: https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-3-15-23 EDN: JXXJHS

56. Донских Н. А., Уманец М. С. Эффективность выращивания разных сортов клевера лугового на семенные цели в условиях Ленинградской области. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2022;(1(66)):9–16. DOI: https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-1-9-16 EDN: LALHTD

57. Лепкович И. П., Спиридонов А. М. Перспективы использования луговых бобовых растений на Северо-Западе России. Аграрная Россия. 2017;(8):7–11. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=29922056 EDN: ZEUJZB

58. Онучина О. Л., Корнева И. А., Кощеева Н. С. Урожайность и параметры экологической пластичности и стабильности сортов клевера лугового в условиях Кировской области. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019;(11(181)):36–44. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42467508 EDN: KSLKJR

59. Арзамасова Е. Г., Попова Е. В., Грипась М. Н. Изучение комбинационной способности сортообразцов клевера лугового для целей селекции в условиях Волго-Вятского региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):397–407. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.397-407 EDN: LYNRPC

60. Волошин В. А. Особенности роста и развития культурных и дикорастущих форм клевера лугового (Trifolium pratense L.) в условиях Среднего Предуралья. Кормопроизводство. 2021;(2):15–20. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44872164 EDN: TDOZEN

61. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Результаты агроэкологического испытания сортов клевера лугового в условиях Среднего Предуралья. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023;1(61):35–39. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=52492205 EDN: SEFJIG

62. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Биохимическая характеристика сортов *Trifolium pratense* L. в условиях Удмуртской Республики. Химия растительного сырья. 2022;(1):261–268.
DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.2022019350 EDN: JDIWCU

63. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Оценка сортов клевера лугового в условиях Среднего Предуралья. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021;16(4):15–18.
DOI: https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-15-18 EDN: VHVKUK

References

1. Ganenko I., Maksimova E. The non-chernozem third of the country. Thirty regions produce a quarter of Russian agricultural products. *Agroinvestor*. 2023;(11):2. (In Russ.).
URL: https://www.agroinvestor.ru/markets/article/41324-nechernozemnaya-tret-strany-30-regionov-proizvodyat-chetvertuyu-chast-rossiyskoy-selkhozproduktsii/

2. Kapsamun A. D., Pavlyuchik E. N., Ivanova N. N. Perennial leguminous grasses on the drained lands of the Non-Chernozem region. Tver': *Tverskoy GU*, 2018. 178 c. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=36441012

3. Napreev K. V., Zaitseva O. A. Yield of modern clover assortment on gray forest soils of Bryansk region. Agroecological aspects of sustainable development of agro-industrial complex: Proceedings of the XX International Scientific Conference. Bryansk: *Bryanskiy GAU*, 2023. pp. 36–42.
URL: https://elibrary.ru/donlso?ysclid=m166g23mpa908816185

4. Pryadilshchikova E. N., Vakhrusheva V. V., Chernysheva O. O. Perennial grass of pastoral use for adaptive fodder production of the Vologda oblast. *AgroZooTekhnika* = Agricultural and Lifestock Technology. 2022;5(4):1. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15838/alt.2022.5.4.1

5. Blagoveshchenskiy G. V. Innovative potential of the leguminous sward diversity. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2013;(12):8–10. (In Russ.).

6. Blagoveshchenskiy G. V., Shtyrkhunov V. D., Konanchuk V. V. Grasses and forage crops as potential sources of energy and protein. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2016;(2):21–23. (In Russ.).

7. Kosolapov V. M., Bondarev V. A., Klimenko V. P. Improving the quality of feed from perennial grasses. *Vestnik rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2008;(4):53–55. (In Russ.).

8. Kutuzova A. A., Provornaya E. E., Tsybenko N. S. Pasture ecosystems of new legume varieties as affected by improved cultivation methods. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2019;(1):7–11. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36826282

9. Mingalev S. K. Comparative efficiency of cultivars of perennial legumes in the middle urals. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2016;12(154):57–61. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28362101

10. Timoshkina O. Yu., Timoshkin O. A. Breeding of creeping clover in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2020;15(4):55–60. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-55-60

11. Kapsamun A. D., Pavlyuchik E. N., Ivanova N. N., Antsiferova O. N., Pushkina L. V. The feed value of perennial legumes grown on drained lands of the Non-Chernozem region. The current state, priorities and prospects for the development of agricultural science on reclaimed lands: Proceedings of the International scientific and practical conference. Tver': *Tverskoy GU*, 2020. pp. 69–75. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=45718881

12. Vagunin D. A., Ivanova N. N. Meadow farm ecosystems of promising perennial grasses in the upper volga region. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2022;(5):3–7. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49496178

13. Makarenkov M. A., Kozlov N. N., Komkova T. N., Korovina V. L. Comparative evaluation of collection samples of perennial legume forage plants. Multifunctional adaptive feed production: collection of scientific articles. Moscow: *FGBOU DPO «Rossiyskaya akademiya kadrovogo obespecheniya APK»*, 2021. Iss. 26(74). pp. 35–43.
DOI: https://doi.org/10.33814/MAK-2021-26-74-35-43

14. Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S. Productivity of clover varieties in the conditions of the Volga-Vyatka region. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2023;(1):39-45. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-66-1-39-45

15. Figurin V. A. Growing perennial herbs for food. Kirov: *NIISKh Severo-Vostoka*, 2013. 188 p.

16. Chukhina O. V., Kulinicheva A. N., Ganicheva V. V., Demidova A. I., Usova K. A., Kulikova E. I. Comparative productivity evaluation of meadow clover (*Trifolium pratense* L.) different varieties in the Vologda region. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik***.** 2020;(3(39)):94–108. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44109376

17. Polyudina R. I., Novoselov M. Yu. Study of varieties of red clover different types of ripeness and ploidy. *Adaptivnoe kormoproizvodstvo* = Adaptive fodder production. 2019;(2):17–25. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-17-25

18. Novoselov M. Yu., Drobysheva L. V., Zyatchina G. P., Piskovatskaya R. G., Tolmacheva E. V., Starshinova O. A., Makaeva A. M. Assessment of forage productivity of promising breeding specimens of perennial clover and birdsfoot trefoil. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;32(2):25–28. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32768048

19. Yudina I. N., Popova L. D., Ivasyuk E. V. Biological productivity of meadow and creeping clover in mixed crops. Collection of scientific research of the Kaluga branch of the Russian State Agricultural Academy. Kaluga: *«Eydos»*, 2004. Iss. 5. pp. 131–134.

20. Trukhan O. V. Creeping clover (*Trifolium repens* L.): biological features, economic significance, varieties and methods of seed production when grown in grass mixtures with a cereal component. *Adaptivnoe kormoproizvodstvo* = Adaptive fodder production. 2021;(3):71–87. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2021-3-71-87

21. Novoselov M. Yu., Drobysheva L. V., Starshinova O. A., Ivanova A. A., Rekashus E. S., Odnovorova A. A., Makaeva A. M. Breeders of the All-Russian Williams Fodder Research Institute in Russian clover production. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2022;(7):34–41. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49841899

22. Piskovatskaya R. G., Makaeva A. M., Tolmacheva E. V. Study of adaptive potential of the promising varieties and samples of leguminous grassess for meadows and pastures (*Trifolium repens* L., *Trifolium hibridum* L., *Lotus corniculatus* L.). *Adaptivnoe kormoproizvodstvo* = Adaptive fodder production. 2016;(4):84–91. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27633141

23. Kosolapov V. M., Chernyavskikh V. I., Kostenko S. I. Fundamentals for forage crop breeding and seed production in Russia. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;25(4):401–407. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/VJ21.044

24. Shamsutdinov Z. Sh. Forage crops selection: progress and challenges. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2014;49(6):36–45. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2014.6.36rus

25. Mazin A. M. Evaluation of meadow clover varieties /*Trifolium pratense* L./ of foreign selection in the Pskov NIISH collection nursery. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2021;(2(35)):22–30. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46455317

26. Spiridonov A. M., Mazin A. M. Varietal characteristics of productivity of *Trifolium pratense* L. under the conditions of the North-West of Russia. *Agrarnaya Rossiya* = Agrarian Russia. 2020;(7):11–16. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30906/1999-5636-2020-7-11-16

27. Spiridonov A. M., Mazin A. M. Productivity of red clover varieties in the conditions of the North-West of Russia. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2023;(4(73)):9–15. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59074024

28. Golubeva O. A., Timeyko L. V., Kholoptseva E. S., Evstratova L. P. Perennial plants of the legume family (*Fabaceae* or *Leguminosae*) in agrophytocenoses of Karelia. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* = Proceedings of Petrozavodsk State University. 2016;(6(159)):42–48. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26713472

29. Kosolapov V. M., Chernyavskikh V. I., Kostenko S. I. New varieties of forage crops and technologies for Russian agriculture. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2021;(6):22–26. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46679178

30. Rekashus E. S., Zakabunina E. N., Khaustova N. A. General adaptive ability of red clover varieties. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta* = Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2019;(31(36)):11–16. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41255040

31. Kuz'menko I. N. Features of flowering of grades perm local and the trio of the clover meadow and grades the First-born of the clover hybrid. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2009;(6(60)):39–41. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12885383

32. Lazarev N. N., Avdeev S. M. Long-term use of seeded meadows. Multifunctional adaptive feed production: Proceedings of the International Congress on Feeds, dedicated to the 100th anniversary of the FNC "V. R. Williams VIC". Moscow, 2022. pp. 39–45. DOI: https://doi.org/10.33814/MAK-2022-29-77-39-45

33. Novoselov M. Yu., Starshinova O. A., Drobysheva L. V., Zyatchina G. P. Assessment of high-heterosis hybrids of meadow clover in the field. Multifunctional adaptive feed production: collection of scientific papers. V. R. Williams Research Institute of Feed. Moscow: *OOO «Ugreshskaya Tipografiya»*, 2017. Iss. 15(63). pp. 28–34. URL: https://www.vniikormov.ru/pdf/mnogofunktcionalnoe-adaptivnoe-kormoproizvodstvo-15-63.pdf?ysclid=m16g0pal5t787381631

34. Novoselov M. Yu., Drobysheva L. V., Starshinova O. A. The results of the competitive variety testing of meadow clover of tetraploid and diploid types. Multifunctional adaptive feed production: collection of scientific articles of FGBNU FNC "V. R. Williams VIC". Moscow: *FGBOU DPO «Rossiyskaya akademiya kadrovogo obespecheniya APK»*, 2022. Iss. 27(75). pp. 9–15. DOI: https://doi.org/10.33814/MAK-2022-27-75-9-15

35. Novoselov M. Yu., Novoselova A. S. Results and prospects of clover breeding. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 1997;(2):39–42. (In Russ.).

36. Figurin V. A., Suntsova N. P., Cheglakova O. A. Nutritional value and productivity of early varieties of a meadow clover at different regimes of use. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2015;(3(46)):38–42. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23434113

37. Novoselov M. Yu., Drobysheva L. V., Matveeva O. S., Zyatchina G. P., Starshinova O. A., Odnovorova A. A., Zasimenko E. M. Current approaches in breeding of red clover for Russian fodder production. *Zemledelie*. 2014;(2):43–46. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21444550

38. Novoselova A. S., Payvina T. T., Payvin T. I. Selection of promising varieties and species of perennial legumes for grassland cenoses. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2005;(12):21–24. (In Russ.).

39. Piskovatskaya R. G., Makaeva A. M., Rekashus E. S. Tetraploid breeding population in the creation of a new alsike clover variety. *Adaptivnoe kormoproizvodstvo* = Adaptive fodder production. 2020;(4):21–29. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2020-4-21-29

40. Bashmakova N. S., Filimonova L. S., Zaytseva O. A., Dyachenko V. V. Yield of meadow clover varieties in the agro-climatic conditions of the Bryansk region. Agroecological aspects of sustainable development of agro-industrial complex: Proceedings of the XIX International Scientific Conference. Kokino: *Bryanskiy GAU*, 2022. Part II. pp. 64–70. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49296335&pff=1

41. Dyachenko V. V., Bashmakova N. S., Filimonova L. S., Zaytseva O. A., Dyachenko O. V. Productivity of modern grassland clover in agroclimatic conditions of gray forest soils of Central region. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2022;(1):6–12. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48077978

42. Dyachenko V. V., Zaytseva O. A., Bashmakova N. S., Filimonova L. S. Productivity of meadow clover varieties of different ploidy-level in the agro-climatic conditions of gray forest soils of the Bryansk region. *Vestnik Bryanskoy GSKhA* = Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2022;(1(89)):33–40. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52691/2500-2651-2022-89-1-33-40

43. Bashmakova N. S., Napreev K. A., Dyachenko V. V., Zaytseva O. A. Productivity of short-term meadow clover cultivars on gray forest soils of the Bryansk region. Modern trends in the development of agricultural science: collection of scientific articles of the International scientific and practical conference. Kokino: *Bryanskiy GAU*, 2022. Part I. pp. 417–420. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49898477&pff=1

44. Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S. Characteristics of growth and development of perennial grasses on the basis of meadow tetraploid clover. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(3):247–255. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.3.247-255

45. Korneeva E. M., Korneev O. V. Features of the technology of cultivation of tetraploid meadow clover for seeds in conditions of reclaimed agricultural landscapes of the North of Russia. Proceedings of the International practical conference. Kursk, 2005. p. 329.

46. Novoselov M. Yu., Drobysheva L. V., Starshinova O. A., Odno-vorova A. A. Agat - the new variety of red clover: breeding and valuable traits. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2023;(9):30–33. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25685/krm.2023.9.2023.004

47. Pavlyuchik E. N. Cultivation of perennial grasses to create a green and raw material conveyor. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2007;(6):13–16. (In Russ.).

48. Gladysheva O. V., Ushakova E. Yu., Mikhalev V. E., Polyanskiy S. Ya. Variety is a major factor of resistant productivity of field clover and lucern in crop rotations of adaptive-landscape agriculture in the Non-chernozem zone of the Russian Federation. *Vladimirskiy zemledelets* = Vladimir agricolist. 2017;(1(79)):24–26. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28984054

49. Prudnikov A. D., Rekashus E. S. Comparative assessment of productivity of new cultivars of meadow clover in agroecological conditions of the Smolensk region. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik OrelGAU. 2011;(4(31)):12–14. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18726584

50. Starshinova O. A. Formation of a new highly productive tetraploid breeding material of meadow clover (*Trifolium pratense* L.). Modern solutions in the development of agricultural science and production: International Summit of Young Scientists. Kazan, 2016. pp. 188–192. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27631037

51. Novoselov M. Yu., Drobysheva L. V., Starshinova O. A. Influence of genetic differences and agroclimatic conditions on the carrying capacity of red clover breeding accessions. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2022;36(4):41–46. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_41

52. Korelina V. A., Batakova O. B., Zobnina I. V. Creation of initial breeding material of red clover with high fodder qualities for conditions of northern region. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2022;17(3):287–298. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-3-287-298

53. Korelina V. A. Influence of abiotic factors on seed productivity of red clover (*Trifolium pratense* L.) in subarctic conditions of the Russian Federation. *Adaptivnoe kormoproizvodstvo* = Adaptive fodder production. 2019;(2):40–47. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-40-47

54. Donskikh N. A., Mikhaylova A. G., Piven M. G. Comparative productivity of different varieties of meadow clover when cultivated for fodder in the conditions of the Leningrad region. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2021;(1(62)):17–26. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-17-26

55. Donskikh N. A., Umanets M. S. Comparative assessment of seed productivity of meadow clover varieties in the conditions of the Leningrad region. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2021;(3(64)):15–23. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-3-15-23

56. Donskikh N. A., Umanets M. S. Efficiency of meadow clover varieties cultivation for seed purposes in the Leningrad region. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2022;(1(66)):9–16. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-1-9-16

57. Lepkovich I. P., Spiridonov A. M. Prospects for the use of meadow legumes in the North-West of Russia. *Agrarnaya Rossiya* = Agrarian Russia. 2017;(8):7–11. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29922056

58. Onuchina O. L., Korneva I. A., Koshcheeva N. S. The yielding capacity and parameters of ecological plasticity and stability of meadow clover varieties in the Kirov region. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2019;(11(181)):36–44. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42467508

59. Arzamasova E. G., Popova E. V., Gripas' M. N. Study of combining ability of meadow clover varieties for breeding purposes in the conditions of the Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4):397–407. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.397-407

60. Voloshin V. A. Growth and development of domesticated and wild genotypes of red clover (*Trifolium pratense* L.) in the Middle Urals. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2021;(2):15–20. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44872164

61. Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S. Results of agroecological testing of meadow clover varieties in the conditions of the Middle Cis-Ural region. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2023;1(61):35–39. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=52492205

62. Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S. Biochemical characteristics of *Trifolium pratense* L. varieties in the conditions of the Udmurt Republic. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2022;(1):261–268. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.2022019350

63. Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S. Estimation of meadow clover varieties in the conditions of the Middle Urals. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2021;16(4):15–18. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-15-18

Сведения об авторах

Пак Лариса Николаевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru; доцент кафедры ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», пр-т Чайковского, 70, г. Тверь, Российская Федерация, 170002, e-mail: rector@tversu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3635-8675**

✉ **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», 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», 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**

Information about the authors

Larisa N. Pak, 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; associate professor of the Department of Botany, Tver State University, 70 Tchaikovsky avenue, Tver, Russian Federation, 170002,
e-mail: rector@tversu.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3635-8675**

✉ **Dmitry A. Ivanov,** DSc in Agriculture, 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

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.770–784
УДК 636.084.4/.087.73

(cc) BY

Витамин Е в кормлении молочного скота (обзор)

© 2024. Е. В. Туаева✉
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация

Витамин Е (токоферол) – жирорастворимый витамин, который оказывает значительное влияние на рост и здоровье животных. В настоящее время синтезировано 8 изомеров токоферола; их особенность заключается в различном расположении метильных групп в хромановом ядре. В организме животных изомеры витамина Е не могут превращаться друг в друга, и их биологическая активность значительно различается. Токоферол обладает мощным антиоксидантным действием, защищая вещества от окисления в организме, и играет важную роль в поддержании нормальных метаболических процессов и физиологических функций. Витамин Е обеспечивает защиту клеточных мембран от окислительного повреждения перекисью водорода, способствует поддержанию иммуномодулирующего эффекта и повышает устойчивость организма к различным патогенам. Кроме того, выполняет существенную функцию в эмбриогенезе, метаболизме нуклеиновых кислот, биосинтезе аскорбиновой кислоты и обеспечивает сохранность структурных и функциональных характеристик тканей. Изомер α-токоферол обладает наивысшей биологической активностью. Использование в кормлении сельскохозяйственных животных кормовых добавок α-токоферола представлено в виде натуральной формы RRR или синтетической формы all-rac, включающей все восемь стереоизомеров (четыре с конфигурацией 2R и четыре с конфигурацией 2S) в равных количествах. Данный обзор на основе 105 публикаций предлагает свод современных знаний и исследований, сфокусированных на изучении физиологической роли витамина Е в питании молочного скота, а также анализирует влияние различных дозировок α-токоферола на зоотехнические показатели.

Ключевые слова: *токоферол, лактация, воспроизводство, продуктивность, метаболизм, биодоступность*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (тема № FGGN-124020200032-4).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Туаева Е. В. Витамин Е в кормлении молочного скота (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):770–784. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.770-784

Поступила: 13.05.2024 Принята к публикации: 06.09.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Vitamin E in dairy cattle feeding (review)

© 2024. Evgeniya V. Tuaeva ✉
Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region, Russian Federation

Vitamin E (tocopherol) is a fat–soluble vitamin that has a significant effect on the growth and health of animals. Currently, 8 tocopherol isomers have been synthesized; their peculiarity lies in the different distribution of methyl groups in the chromane core. In animals, vitamin E isomers cannot convert into each other and their biological activity varies significantly. Tocopherol has a powerful antioxidant effect, protecting substances from oxidation in the body, and plays an important role in maintaining normal metabolic processes and physiological functions. Vitamin E protects cell membranes from oxidative damage by hydrogen peroxide, helps maintain the immunomodulatory effect and increases the body's resistance to various pathogens. In addition, it performs an essential function in embryogenesis, nucleic acid metabolism, ascorbic acid biosynthesis and ensures the preservation of structural and functional characteristics of tissues. The α-tocopherol isomer has the highest biological activity. The use of α-tocopherol feed additives in the feeding of agricultural animals is presented in the form of a natural form of RRR or a synthetic form of all-rac, including all eight stereoisomers (four with the 2R configuration and four with the 2S configuration) in equal quantities. This review based on 105 publications offers a set of modern knowledge and research focused on the study of the physiological role of vitamin E in the nutrition of dairy cattle, as well as analyzes the effect of various dosages of α-tocopherol on zootechnical indicators.

Keywords*: tocopherol, lactation, reproduction, productivity, metabolism, bioavailability*

Acknowledgments**:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (theme No. FGGN- 124020200032-4).

The author thanks the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

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

For citation: Tuaeva E V. Vitamin E in dairy cattle feeding (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):770–784. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.770-784

Received: 13.05.2024 Accepted for publication: 06.09.2024 Published online: 30.10.2024

Обеспечение адекватного питания животных, характеризующегося высоким качеством и экономической эффективностью, является главным условием для получения максимальной продуктивности и реализации генетических возможностей животных [1]. Рационы, оптимально сбалансированные по количественному составу и качеству кормов, оказывают влияние не только на продуктивность, но и на здоровье, и продолжительность хозяйственного использования животных [2, 3]. Одним из главных факторов эффективного использования высококачественных кормов является корректное соотношение жизненно необходимых питательных компонентов в кормовых рационах [4].

Значительным резервом увеличения продуктивности животных и птицы является обеспеченность их рационов витаминами. Они являются неотъемлемой частью кормовых рационов и необходимы в малых количествах для поддержания биохимических, метаболических и физиологических процессов, что способствует более интенсивному росту и развитию, повышению продуктивности и укреплению иммунной системы [5, 6, 7]. Учитывая тот факт, что животные не в состоянии синтезировать жирорастворимые витамины эндогенно, их необходимо включать в рационы в качестве биоактивных добавок [8].

Витамин Е играет огромную роль в живом организме, он необходим для оптимального функционирования многих биологических систем и выполняет важные функции в мышечной, нервной, кровеносной, репродуктивной и иммунной системах, также выступает в качестве мощного жирорастворимого антиоксиданта и оказывает противовоспалительное действие, обеспечивает защиту организма от вторжения чужеродных антигенов и участвует в регуляции экспрессии генов. Как антиоксидант, защищает клеточные мембраны и другие липидосодержащие структуры от окислительного повреждения, которое может быть вызвано свободными радикалами [9]. Данный витамин обладает уникальными свойствами, не позволяющими его заменить на другие антиоксидантные вещества, будь то эндогенные или экзогенные, и это делает витамин Е неотъемлемой частью механизмов поддержания структурной целостности клеток, особенно в таких восприимчивых к окислительному стрессу тканях, как печень, легкие и мышцы [10, 11].

Витамин Е, относящийся к группе жирорастворимых витаминов, участвует в поддержании здоровья, росте и развитии животных, в том числе сельскохозяйственных животных и птицы [12]. Многочисленные исследования посвящены пониманию роли витамина Е в продуктивном животноводстве для оптимизации производственных показателей. В последние годы наблюдается значительный прогресс в понимании механизмов действия витамина Е, что позволяет разработать более эффективные подходы к его использованию в практике кормления животных.

Цель обзора – обобщить современные исследования, опубликованные в обзорных и экспериментальных работах, для освещения данных о роли витамина Е в биологических процессах и его воздействии на системы организма молочного скота.

Материал и методы. В рамках анализа литературных источников был проведен систематический поиск и оценка публикаций, хранящихся в электронных базах данных, включая PubMed, ScienceDirect и КиберЛенинка. При этом более половины всех исследованных источников были опубликованы в течение последних пяти лет. Во время поиска использовались ключевые термины и фразы – «витамин Е», «токоферолы», «структура», «биодоступность», «метаболизм», «содержание витамина Е в кормах», «крупный рогатый скот», «продуктивность» и «здоровье». Метод поиска был основан на применении стандартных ключевых понятиях и включал запросы к названиям, аннотациям и другим атрибутам публикаций. В процессе подготовки литературного обзора изучали рекомендации, монографии, статьи аналитические и экспериментального характера, представленные авторами и исследовательскими группами из разных стран.

Основная часть. За последние 100 лет основные исследования были посвящены пониманию механизмов и потребности в витамине Е людей и животных.

Витамин Е, эссенциальный жирорастворимый витамин, нетоксичен, его влияние на организм объясняется антиоксидантными и не антиоксидантными свойствами, необходим в рационе в небольшом количестве, при этом оказывает положительное влияние на продуктивность животных, улучшает качество продукции, а также обеспечивает получение жизнеспособного приплода [13].

Название «токоферол» от греческих слов «τόκος» [tókos – рождение] и «φέρειν» [phérein – вынашивать или переносить], что означает «вынашивать беременность», чтобы указать на присутствие ОН-группы в молекуле в конце было добавлено «ol». Витамин обнаружили в 1922 году американские ученые Герберт Маклин Эванс (Herbert McLean Evans) и Кэтрин Скотт Бишоп (Katharine Scott Bishop), в проведенных исследованиях был обозначен как неизвестный фактор, выявленный в растительных маслах, необходимый для нормального воспроизводства крыс, и назван «фактор Х» или «фактор антистерильности». Эванс предложил использовать букву Е для обозначения фактора, следующего за известным тогда витамином D. Глэдис Людвина Андерсон Эмерсон (Gladys Ludwina Anderson Emerson) в 1936 году выделила альфа-токоферол из масла зародышей пшеницы. Правильная структура была дана в 1938 году немецким ученым Фридрихом Августом Эрхардом Фернхольцем (Friedrich August Erhard Fernholz), и в этом же году впервые был осуществлён синтез витамина Е из триметилгидрохинона и фитилбромида в присутствии хлорида цинка швейцарским химиком-органиком Паулем Каррером (Paul Karrer) [14].

В последующие годы изучения витамина Е из пищевых растительных масел были выделены два токоферола: *γ*- и *δ*-токоферол, а также токотриенолы. Сегодня известно, что в природе встречаются в общей сложности четыре токоферола и четыре токотриенола. В 1968 году витамин Е официально признали необходимым веществом, которое должно в обязательном порядке входить в рацион, а *α*-токоферол соответствует определению витамина Е [15]. В это же время в мире были получены неоспоримые данные о значении витамина Е как антиоксиданта, разрушающего радикальные цепи, который может защищать целостность тканей и играть важную роль в жизненных процессах [16].

В дальнейших исследованиях было обнаружено, что α-токоферол обладает функциями, независимыми от его антиоксидантной способности поглощать радикалы, и всасывание *α*-токоферола в организме избирательно, а другие токоферолы не всасываются или всасываются в меньшей степени. Более того, токоферолы обладают свойствами, которые могут оказывать прооксидантный эффект, а также проявляют антинитрирующие свойства [17]. В литературе описаны не антиоксидантные и не прооксидантные молекулярные механизмы токоферолов, которые продуцируются α-токоферолом, а не *β*-токоферолом, и обнаружены специфические ингибирующие эффекты *α*-токоферола на протеинкиназу С, рост определенных клеток и на транскрипцию некоторых генов (CD36 и коллагеназы). В ходе исследования были фиксированы процессы активации протеинфосфатазы PP2A, повышенной активности транскрипции гена *α*-тропомиозина и гена фактора роста соединительной ткани. Кроме того, были описаны не антиоксидантные молекулярные механизмы, связанные с действием *γ*-токоферола, *δ*-токоферола и токотриенолов [18].

Как отмечалось выше, витамин Е включает в себя восемь жирорастворимых веществ, которые подразделяются на две большие группы, различающиеся гидрофобными составляющими:

- токоферолы (в соответствии с количеством и местом присоединения метильных групп различают *α*-, *β*-, *γ*- и *δ*-токоферолы);
- токотриенолы (*α*-, *β*-, *γ*- и *δ*-токотриенолы).

Только *α*-токоферол является эффективным источником витамина Е для организма, что обусловлено высоким уровнем его усвояемости. Этот витамин распределяется по организму с помощью белка *α*-токоферолтранспортирующего протеина (*α*-TTP), который синтезируется в печени. Однако следует отметить, что *α*-TTP имеет низкую специфичность к другим семи изомерам витамина Е, что может оказывать влияние на их биоусвояемость [19].

На биодоступность витамина Е у крупного рогатого скота влияют многочисленные факторы, включая:

- количество витамина Е, содержащегося в кормах;
- качество, технология заготовки и хранения корма;
- пол животного;
- белки, участвующие в усвоении витамина Е, и индивидуальные различия в эффективности усвоения, на которые влияют, например, заболевания;
- метаболизм витамина Е;
- генетические полиморфизмы.

На некоторые факторы, влияющие на биодоступность витамина Е, воздействовать невозможно, такие как пол животного, возраст или генетическая предрасположенность, тогда как другие зависят от индивидуальных особенностей и могут быть обобщены как фактор абиотического существования [20].

Различия в физиологическом действии витамина Е может изменять его статус при распределении в организме. Хотя усвоение витамина Е может активно регулироваться, например, общим количеством потребляемого витамина Е, разными факторами кормления, всасывание и транспортирование в основном зависят от состояния здоровья животных, на регуляцию метаболизма витамина Е лишь частично влияют экзогенные факторы [21].

При химическом синтезе α-токоферола получают рацемическую смесь всех 8 возможных изомеров (RRR, RSS, RSR, RSS, SRR, SRS, SSR и SSS) *α*-токоферола в эквимолярных концентрациях (синтетическая форма, также называемая *α*-токоферолом *all-rac* и исторически обозначаемая dl-*α*-токоферолом) с четырьмя стереоизомерами, показывающими конфигурацию 2R (RRR, RRS, RSS, RSR, имеющие конфигурацию R в положении 2' фитильного хвоста) [22]. Среди возможных различных форм *α*-токоферола, *α*-токоферол RRR является единственной изомерной формой витамина Е (имеет конфигурацию R в положении 2, 4 и 8 (т. е. 2R, 4R, 8R), вырабатываемой растениями (природная форма, исторически обозначаемая как d-*α*-токоферол) и, следовательно, единственной, которая естественным образом присутствует в кормах. Свободные формы легко окисляются, они более стабильны, и поэтому такие формы, как ацетатный и сукцинатный эфиры *α*-токоферола (RRR *α*-токоферилацетат, RRR *α*-токоферил сукцинат, *all-rac α*-токоферил-ацетат, *all-rac α*-токоферил сукцинат) были синтезированы для использования в качестве кормовых добавок. Сложные эфиры очень устойчивы к окислению *in vitro*, однако, они гидролизуются в кишечнике животного, чтобы освободить токоферол, который проявляет свою активность *in vivo* [23].

Ацетатный эфир *α*-токоферола *all-rac* (*all-rac α*-токоферилацетат) является наиболее распространенной и применяемой формой при использовании добавок витамина Е в кормлении животных из-за низкой стоимости и высокой стабильности. Стереоизомеры витамина Е обладают разной биопотенцией, причем форма RRR обладает большей активностью, чем форма *all-rac* [24]. Количество витамина Е принято обозначать в международных единицах – МЕ. 1 МЕ витамина Е определяется как 1 мг *α*-токоферилацетата *all-rac*, как 0,74 мг *α*-токоферилацетата RRR и 0,67 мг *α*-токоферола RRR [25]. Синтетический витамин Е содержит всего 12,5 % RRR-*α*-токоферола природной формы витамина Е, а остальные семь стереоизомеров имеют другую молекулярную конфигурацию и более низкую биологическую активность [26]. В целом, формы 2R являются биодоступными, а формы 2S имеют очень низкую биодоступность или вообще не являются биодоступными у людей и животных [27]. Так, например, у молочного скота на RRR-изомер приходится 84–88 % всех изомеров в крови и молоке [28], независимо от типа и количества добавок с витамином Е. Таким образом, биодоступность RRR *α*-токоферилацетата по отношению к *all-rac α*-токоферилацетату составляет по меньшей мере 2:1 у молочного скота [7]. Как синтетический *rac*-*α*-токоферол, так и экстрагированный натуральный RRR-*α*-токоферол обычно ацетилируют, поскольку ацетатный эфир более стабилен при обращении и хранении, чем спиртовая форма [29]. Благодаря своим жирорастворимым свойствам витамин Е входит в состав органелл для хранения липидов и плазматических мембран, поэтому он также широко распределен по организму [30, 31].

Метаболизм витамина Е осуществляется ферментами печени. Попав в нее вместе с током крови, вещество соединяется со специфическим белком и образует одну из своих форм альфа-токоферол. Остальные соединения выводятся вместе с желчными кислотами через почки с мочой [32]. Сложные эфиры токоферола гидролизуются до свободного токоферола, затем всасываются через слизистую оболочку кишечника. Все формы витамина Е всасываются лимфатическим путем, поглощаются клетками кишечника и высвобождаются в кровоток с хиломикронами. Далее попадают в печень и через остатки хиломикронов специфический белок *α*-TTP избирательно сортирует не только *α*-форму всех токоферолов, но также стереоизомеры 2R [33]. В литературных источниках показано, что 2R-изомеры в сравнении с 2S-изомерами преимущественно сохраняются в плазме и во всех тканях, за исключением печени [34, 35]. Считается, что деградация и всасывание витамина Е происходит в тонком кишечнике вместе с жиром в присутствии солей желчных кислот [36, 37], а не в желудке [32].

Одним из источников витамина Е для крупного рогатого скота являются растительные корма. Особенно богаты им растительные масла и зародыши зерновых культур, луговая трава, клевер, люцерна, травяная мука, неизмельченные семена. Меньшее количество витамина Е содержится в зерне злаковых,

отрубях, жмыхах. Корма животного происхождения и шроты маслянистых культур содержат мало витамина Е [38].

Растительные корма, содержащие природный изомер RRR α-токоферола, обладают высокой степенью биодоступности [39]. На биодоступность витамина Е в зеленых кормах может влиять вид растения, его зрелость на момент сбора и условия, при которых происходит обработка и хранение [40]. Кормовые растения в ранние фазы вегетации содержат довольно высокое содержание α-токоферола, особенно молодая трава (разнотравье), 60–90 мг/кг корма и животные, находящиеся на пастбище, получат достаточное количество витамина Е [41]. Концентрация α-токоферола варьируется в зависимости от кормовых растений, методов заготовки кормов и в целом снижается по мере созревания растений [42].

Силосование зеленой массы приводит к меньшим потерям α-токоферола, чем при заготовке сена, в силосе из злаково-бобовых культур установлены более высокие концентрации α-токоферола, чем в цельнозерновом и кукурузном силосах [43]. Это можно связать с тем, что в анаэробных условиях распад витамина Е в силосной массе вряд ли возможен, при этом значительные потери происходят еще в процессе подвяливания, поэтому чем дольше зеленая масса находится в поле, тем выше потери токоферолов. Из-за нарушения технологии заготовки травяных кормов, например, при длительной закладке траншеи и недостаточной трамбовке потери витамина Е достигают 80 %. Практически отсутствует токоферол в силосе и сенаже, если температура в траншее повышалась до 50–60 °С[1]. В зерновых кормах количество токоферолов варьирует от 4,2 до 53,0 мг/кг корма, во время хранения, досушивания, механического воздействия концентрация витамина сокращается, в зеленой траве от 28 до 100 мг/кг корма, при этом в листьях его значительно больше, чем в стеблях. В отходах маслоэкстракционного и технического производств, а также в кормах животного происхождения (рыбная, кровяная, мясокостная мука) из-за перекисей, образующихся при хранении кормов, происходит разрушение витамина Е [44].

Содержание антиоксидантов в грубых кормах сильно варьирует в зависимости от многочисленных факторов (места произрастания, климата, фазы заготовки): зеленая масса содержит гораздо больше витамина Е, чем консервированные корма, такие как люцерновый и кукурузный силос или сено [45]. Однако в последние десятилетия системы кормления изменились в сторону бóльшего включения объемистых консервированных кормов и исключения количества свежей травы, что сокращает поступление витамина Е в рационы крупного рогатого скота [46]. Следовательно, молочный скот, содержащийся на современных комплексах, не получает с кормами природные антиоксиданты и испытывает более высокий окислительный стресс [47], а витамин Е важен для регуляции иммунитета и снижения окислительного стресса, которые являются одним из факторов устойчивости и восприимчивости к маститу [48, 49], и создает защитный барьер эндотелиальных клеток молочной железы коров от повреждения, вызванного прооксидантами [50].

Поскольку витамин Е действует как антиоксидант, разрушающий цепи в клеточных мембранах, где основная функция заключается в предотвращении окислительного повреждения путем улавливания активных оксирадикалов [51], он также необходим для таких функций организма, как рост, размножение, иммунитет и для профилактики заболеваний и защиты тканей [52].

Значительные исследования посвящены пониманию механизмов и потребности в витамине Е, так как он сохраняет целостность клеточных и сосудистых мембран, в том числе мембран кишечных и мышечных клеток, но прежде всего модулирует иммунную систему, уменьшает воспаление, приводит к снижению уровня стресса и повышает фертильность благодаря своим антиоксидантным свойствам [53]. При рассмотрении суточной потребности организма животных в токоферолах, следует отметить, что эта потребность значительно колеблется и зависит, в первую очередь, от состава кормов в рационе, содержания жира в нем, обеспеченности другими витаминами и минеральными веществами, протеином, отдельными аминокислотами. Удовлетворение в потребности в витамине Е резко изменяется в зависимости от состояния здоровья, условий содержания и продуктивности животных, климатических условий и времени года [54].

[1]Шпаар Д. Кормовые культуры. Производство, уборка, консервирование и использование грубых кормов: учебно-практическое руководство. М.: ИД ООО «DLV Агродело», 2009. Т. 1. 784 с. URL: https://pro3001.narod.ru/001/xrushev2/Diter_Shpaar_Kormovye_kultury.pdf

Уровень витамина Е у новорожденных телят в значительной степени зависит от рациона кормления коров в сухостойный период и потребления молозива, которое является основным путем доставки жирорастворимых витаминов. Скармливание молозива повышает уровень витамина Е у новорожденных телят, в 100 г которого содержится от 60 до 1040 мкг витамина Е [55]. Содержание жира и жирорастворимых витаминов в молозиве влияет на уровень витамина Е и антиоксидантный статус новорожденных телят [56].

Необходимо отметить, что установленные нормы потребности крупного рогатого скота в витамине Е не являются окончательными и подвергаются корректировкам в соответствии с новыми исследованиями, подчеркивающими значимость данного витамина. С каждым годом публикуются исследования с более глубоким анализом и пониманием роли витамина Е в метаболизме животных, что приводит к корректировке ранее установленных норм потребления [57]. Так, NRC 1984 – норма потребности крупному рогатому скоту находилась в диапазоне 15-60 мг/кг массы тела. В NRC 2001 потребность в бета-токоферолe для молочного скота в период лактации была увеличена примерно до 65 мг/кг массы тела из-за доказанной роли витамина Е на здоровье и иммунную функцию.

По оценкам «Nutrient requirements of dairy cattle» 2001 и 2021 гг., уровень витамина Е в рационах телят молочного периода выращивания был увеличен до 50 МЕ/кг на 1 кг сухого вещества (приблизительно 30 МЕ/сут), рекомендация 2001 года [6, 7]. Это можно связать с исследованиями 1987 года [58], где приводятся данные о динамике интенсивности роста, когда телятам скармливали 125 или 250 МЕ витамина Е по сравнению с телятами, которым не давали дополнительного витамина Е, и было отмечено, что потребность в витамине Е увеличивается с изменением живой массы. Поэтому дозировка витамина Е или эквивалентов могут варьировать в зависимости от нормы кормления и прогнозируемого плана роста молодняка крупного рогатого скота [59]. Ученые ВИЖа (2018) в монографии «Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах» указали, что для молодняка крупного рогатого скота при интенсивном выращивании телок в возрастном периоде от 1 до 6-месячного возраста и при представленной живой массе норма в витамине Е в расчете на 1 голову в сутки требуется от 30 до 200 мг, с 6 до 12 месяцев – 220-300 мг [5]. В 1976 году немецкий ученый Э. Визнер отмечал, что потребность в витамине Е, а также механизм его биохимического воздействия на организм до сих пор не полностью изучены. В связи с этим, для оценки суточной потребности в данном витамине используется косвенный подход, основанный на расчете дозы витамина Е, которая варьируется от 1 до 2 мг на каждый килограмм живой массы животного, в зависимости от вида животного и его продуктивности [38].

Телята с низкой концентрацией витамина Е в плазме крови более восприимчивы к инфекциям. При концентрации витамина Е в плазме ниже 0,5 мг/л является смертельной, ниже 1,5 мг/л свидетельствует о дефиците, а выше 3,0 мг/л – обеспечивающей оптимальное функционирование иммунной системы [17].

Положительное влияние добавок витамина Е на иммунную функцию крупного рогатого скота включает стимуляцию синтеза сывороточных антител (особенно IgG) и приводит к снижению выработки глюкокортикоидов, а инъекция витамина Е телятам живой массой 45 кг, содержащая 300 мг α-токоферола ацетата и 6 мг селена, привела к изменению гематологических показателей, а именно произошло изменение количества лимфоцитов и улучшились показатели антиоксидантной способности [60]. Вакцинация новорожденных телят породы джерси в течение первых двух недель жизни витамином Е в количестве 2000 МЕ один раз в неделю значительно улучшила концентрацию IgG в сыворотке крови и превысила 100 г/л, что свидетельствует о резком усилении активного иммунитета [61]. Добавление витамина Е телятам повлияло на концентрацию IgM [62], а также на передачу сигнала и активность нейтрофилов [63].

Телятам японской породы вагю скармливали витамин Е в количестве 300 МЕ/сут в возрасте от 1 до 3 месяцев, что повлияло на количество иммунных клеток в периферической крови. Наивысшая концентрация витамина Е в сыворотке крови была отмечена в возрасте двух и трех месяцев по сравнению с контрольной группой ($P<0,01$), также Т-лимфоциты хелперы с разными фенотипами (CD3+, CD4+, CD21+, CD335+, CD8+ и CD14+) были достоверно ($P<0,05$) выше в опытной группе, чем в контрольной [64].

В ходе проведённого экспериментального исследования была изучена эффективность добавления витамина Е в рацион телят в возрасте от 12 до 18 недель. В качестве критерия оценки влияния использовали биомаркеры окислительного стресса, измеренные в образцах крови животных. Результаты исследования свидетельствуют о статистически значимом снижении концентрации активных метаболитов кислорода в сыворотке крови у опытных телят. Данный факт указывает на наличие положительного воздействия витамина Е на окислительный стресс, что подтверждает его потенциальную защитную роль в противодействии окислительным процессам в организме [65].

Так как витамин Е влияет на созревание иммунной системы и на это указывает выработка оксида азота мононуклеарными лейкоцитами крови, а выработка оксида азота в ювенильных лейкоцитах выше, чем в зрелых клетках, то витамин Е может играть определенную роль в созревании этих клеток, уменьшая потенциальное повреждение, вызванное избыточной выработкой оксида азота [66]. Телятам с заболеваниями дыхательных путей добавляли α-токоферол, и они выздоравливали быстрее в сравнении с аналогами, не получавшими добавки [67]. Также показано, что *α*-токоферол оказывает защитное действие на лейкоциты, участвующие в защите от *Mannheimia haemolytica* [68]. В исследовании по изучению уровня витамина Е в сыворотке крови телят он был ниже, чем необходимо для возраста 2–7 дней – <0,8 мкг/мл, более 7 дней – <0,5 мкг/мл, они в 3,2 раза чаще получали лечение от энтерита, чем телята с более высокими концентрациями витамина [69]. При изучении комбинации флорфеникола и флуниксина в сочетании с витамином Е отмечали снижение окислительного стресса у телят, инфицированных респираторно-синцитиальным вирусом крупного рогатого скота (RSV), и группы телят, получавших ингибитор циклооксигеназ в сочетании с витамином, имели значительно более низкие концентрации тиобарбитуровой кислоты (TBARS) и нитрат-ионов оксида азота [70].

При изучении снижения воздействия теплового стресса на организм телят была использована кормовая добавка, состоящая из хрома – 0,5 мг, витамина Е – 500 МЕ и селена – 0,3 мг, что в результате привело к значительному снижению ($P<0,05$) уровня кортизола и ректальной температуры [71]. Применение в кормлении телят молочного периода витамина Е и селена привело к повышению титров антител и усилению фагоцитарной активности [72]. В исследованиях, проведенных в США, где оценивали влияние кормового витамина Е на признаки, связанные с токсикозом овсяницы, отмечена повышенная скорость роста и тенденция к улучшению пассивного иммунного статуса у телят [58]. Другие авторы сообщают, что добавление витамина Е улучшает иммунный ответ на вакцинацию *Pasteurella multocida* у помесных телят [73].

Перевод телят с молока или ЗЦМ на основной рацион является важным этапом, в этот период происходит снижение антиоксидантного статуса, что оказывает отрицательное воздействие на устойчивость к болезням. В результате исследования при смене рациона (61-й день в возрасте) содержание RRR-*α*-токоферола в плазме крови составило – 0,8 мкг/мл, концентрация витамина Е в плазме крови менее 0,5–1,0 мкг/мл считается недостаточной. Снижение содержания витамина Е в плазме крови в послемолочный период может быть связано со сменой рациона кормления с высоким содержанием жира (из-за молока или заменителей молока) на растительный рацион, который обычно содержит <5 % жира в пересчете на сухое вещество. Кроме того, полиненасыщенные жиры могут препятствовать всасыванию *α*-токоферола, обеспечивая недостаточный субстрат для мицелляризации во время переваривания и транспортировки в кишечнике [74]. В другом исследовании говорится, что скармливание 60 или 120 мг/кг на 1 кг сухого вещества RRR-*α*-токоферола было недостаточно для поддержания оптимальной концентрации витамина Е в плазме крови, тогда как 200 мг/кг на 1 кг сухого вещества поддерживали уровень в плазме в течение 2 недель после перевода на основной рацион (послемолочный период) [75]. Другие авторы рекомендовали, чтобы содержание *α*-токоферола в рационах телят в послемолочный период составляло 200 мг/кг живой массы. Эти авторы также сравнили источники витамина Е – 200 мг/сут RRR-*α*-токоферола (ALC), 200 мг/сут RRR-*α*-токоферилацетата (ACT) или 200 мг/сут полностью *rac*-*α*-токоферилацетата (SYN). Концентрация *α*-токоферола в плазме крови в послемолочный период составляла 2,7, 2,1, 1,1 и 0,8 мкг/мл для ALC, ACT, SYN и контроля соответственно, в результате проведенных

исследований пришли к выводу, что 200 мг/кг ALC было наиболее эффективным для поддержания уровня витамина Е в плазме крови в изучаемый период [76].

Уровень выбраковки лактирующих коров значительно увеличился, при этом сокращается продолжительность их жизни, и этот вопрос вызывает обеспокоенность во всем мире. За последние десятилетия системы кормления изменились в сторону бóльшего включения консервированных кормов и уменьшения количества свежей травы, что ограничивает поступление витамина Е в рацион молочных коров [77]. Также из-за высокого окислительного стресса, вызванного увеличением производства молока и современной генетикой, потребность в витамине Е может увеличиваться [48]. В одной из работ приводится мета-анализ данных о влиянии замены свежей травы и сена на силос, что повлияло почти на 50 % выбраковок и было связано с увеличением количества соматических клеток в молоке и низкой устойчивости к клиническому маститу (23 %) и яловостью (26 %) [78], в других работах рассматривается синдром низкой воспроизводительной способности, выраженный у современных коров, который следует рассматривать как многофакторный. Управление стадом и кормление должны быть адаптированы таким образом, чтобы позволить коровам с высокой молочной продуктивностью справляться с повышенными метаболическими потребностями, так как увеличение производства молока подразумевает более высокие потребности в питательных веществах, и без пересмотра структуры рациона коров все это приводит к отрицательному энергетическому балансу и усилению окислительного стресса [79, 80]. Помимо высоких требований, окислительная активность превышает нейтрализующую способность антиоксидантов, естественным образом вырабатываемых организмом. В дополнение к этим ферментным антиоксидантам с кормом могут поступать антиоксиданты, например, как витамин Е [81].

По вопросу потребности коров молочного направления продуктивности в витамине Е данные очень разноречивы. Так, на основании анализа литературы по данным зарубежных авторов, норма витамина Е для лактирующих коров – 1,8 МЕ на 1 кг живой массы, для сухостойных коров и нетелей – 2,6 МЕ на 1 кг живой массы или от 18 до 73 МЕ *all-rac* α-токоферола/кг на кг сухого вещества для сухостойных и лактирующих коров [7], в литературе российских исследователей норма потребности в витамине Е составляет 30–36 мг на 1 кг ЭКЕ, или 20–40 мг на 100 кг живой массы [5].

Хотя в исследованиях некоторых ученых рекомендуемые дозы в витамине Е составляют от 1000 до 3000 мг и от 500 до 1000 мг для сухостойных и лактирующих коров соответственно, что выше по рекомендации NRC 2021 г. (т. е. 1200 мг/голову и 545 мг/голову в сутки), увеличение перорального приема витамина Е в дозе 1000 мг на корову в сутки может приводить к снижению содержания соматических клеток в молоке на 30 % [82, 83]. Противоречивые результаты предыдущих исследований могут быть обусловлены различными источниками вариаций и взаимодействий, которые невозможно полностью контролировать в рамках отдельных исследований. Несколько других факторов могут влиять на доступность витамина Е и его эффективность у животных, включая источник активного вещества витамина Е, другие питательные вещества в кормах [84], изменение содержания витамина Е в базовом рационе [41], также способа введения (например, гранулы из рубца или премиксы) в рационе или в виде инъекций, применяемых в течение разных периодов времени и с разной частотой у коров [85].

В течение последнего времени (10–20 лет) наблюдается значительное увеличение надоев молока, изменение структуры рациона и видов кормов, скармливаемых коровам. Все это неизбежно приводит к уменьшению способности противостоять стрессу и, как следствие, к ослаблению иммунитета, фертильности. В итоге снижается продуктивность, плодовитость и срок хозяйственного использования коров, одной из причин является резкое понижение содержания витамина Е в организме, особенно в период раздоя.

Исследования показали, что добавление в рацион коров витамина Е глубокостельным коровам позволило уменьшить количество задержаний последа, клинических маститов и инфекционных заболеваний молочной железы [86].

Концентрация α-токоферола в плазме крови резко падает незадолго до отела и остается низкой в течение нескольких дней [87], в этот же период происходит снижение иммунной функции у молочных коров [88]. Одна из причин заключается в том, что концентрация липопротеидов плазмы, переносчиков витамина Е, сильно понижается на поздних сроках стельности [89]. Потребление корма убавляется

в течение того же периода, но снижение содержание витамина Е в плазме крови происходит, даже при сохранении его потребления. Самые низкие концентрации *α*-токоферола в плазме крови отмечены в новотельный период, это связано с повышенным риском проблем со здоровьем, включая мастит, высокий уровень соматических клеток, смещение сычуга и задержку отделения последа [87, 90]. В опыте коровам за 14 дней до предполагаемого отела и 14 дней после отела в рацион не добавляли витамин Е и 2500 мг/сут *α*-токоферилацетата *all-rac*, при этом концентрация *α*-токоферола в плазме коров, молозиве, молоке и нейтрофилах крови была самой высокой при введении RRR и низкой у коров, которым не давали дополнительно витамин Е [91]. Низкие значения концентрации витамина Е в крови во время отела могут быть объяснены окислительным стрессом, вызванным небольшим потреблением корма в этот период, а также высокими энергетическими потребностями коровы в новотельный период [92, 93]. Сразу после отела коровы подвергаются высокой липомобилизации, которая быстро увеличивает концентрацию неэтерифицированных жирных кислот в крови [94], что приводит к чрезмерной окислительной активности и интенсивному использованию антиоксидантов, таких как витамин Е [95].

Добавление от 2000 до 4000 МЕ витамина Е в сутки в течение 2 недель до предполагаемого отела снижало частоту инфицирования молочных желез, клинического мастита в сравнении с коровами, получавшими 1,0 МЕ дополнительного витамина Е в течение этого периода [83, 96]. Однако было проведено исследование, где не выявлено положительного эффекта от скармливания 1600 мг RRR-*α*-токоферола в сутки (3500 МЕ витамина Е) в течение последних 4 недель стельности для здоровья молочной железы послеотельный период, но при этом число мертворожденных телят сократилось [97]. До конца не изучен механизм благотворного воздействия витамина Е на профилактику случаев мастита, но он может включать стимуляцию активности нейтрофилов, при этом было отмечено, что скармливание витамина Е коровам в период раздоя улучшало функцию нейтрофилов, а иногда и макрофагов, в этих исследованиях количество скармливаемого витамина Е варьировало от 1000 до 3000 МЕ/сут [52, 53, 98].

Еще одна интересная область исследований витамина Е в питании животных связана с его потенциалом повышать эффективность использования кормов жвачных животных, а именно оказывать влияние на микробиоту рубца. В эксперименте с использованием добавки витамина Е в рационе коров оказало положительное влияние на ферментацию в рубце, о чем свидетельствует увеличение газообразования и общей концентрации летучих жирных кислот. Кроме того, при введении *α*-токоферилацетата в дозе 50 МЕ на животное в сутки в качестве источника витамина Е активность простейших была выше по сравнению с *α*-токоферолом, при этом *α*-токоферилацетат также способствовал повышению разлагаемости корма на 8 % [99]. В другом исследовании добавление в рацион коров витамина Е привело к увеличению концентрации простейших *in vitro*, а повышенная концентрация простейших может изменять трансформацию азота в рубце [100]. Структура рациона также влияет на пропорции ацетата, пропионата и бутирата, которые влияют на содержание жира в молоке. Так, добавка с витамином Е привела к повышению концентрации ацетата и пропионата, в то время как концентрация масляной кислоты снизилась [101]. Этот эффект можно объяснить антиоксидантными свойствами витамина Е, которые приводят к повышению уровня бактериальной и простейшей активности в рубце. Также было обнаружено, что высокие дозы витамина Е (12 000 МЕ на голову в сутки) оказывают положительное влияние на ферментацию в рубце и метаболизм крови у молочных коров. Такой эффект достигается за счет регулирования относительной численности микроорганизмов в рубце, что помогает смягчить ряд побочных эффектов, которые обычно связаны с подострым ацидозом рубца [102]. Биологический механизм, лежащий в основе влияния добавок витамина Е на содержание жирных кислот во внутримышечном жире, связан с его способностью изменять пути биогедрирования полиненасыщенных жирных кислот в рубце у молочного и мясного скота [12]. Исследования показали, что витамин Е может действовать либо как ингибитор бактерий, продуцирующих транс-10 C18:1, либо как акцептор электронов для фибринов растворимых волокон, которые играют решающую роль в метаболизме рубца [103]. Добавление витамина Е в рационы жвачным животным может оказывать благотворное влияние на рост простейших и продуктов ферментации в рубце [104].

Есть данные исследований, что витамин Е может снизить потребность в антибиотиках и других фармацевтических препаратах в животноводстве, что может помочь решить проблемы, связанные с устойчивостью к противомикробным препаратам, и улучшить общую картину в сельском хозяйстве [105].

Заключение. Обобщение научных данных по изучению токоферола демонстрирует, что исследования в данной области ведутся уже более 100 лет, а его использование в кормлении животных насчитывает более 80 лет. Первоначально витамин Е применяли с целью усиления репродуктивной функции и коррекции патологических ростовых нарушений, однако с течением времени была определена его химическая структура и выявлены его функции в поддержании иммунитета, противовоспалительных реакциях и гормональном равновесии. Несмотря на значительные достижения в понимании роли витамина Е в питании жвачных животных, ряд вопросов по-прежнему остается без однозначных ответов. В последнее десятилетие глобальные научные усилия были направлены не только на установление оптимальных уровней введения витамина Е, но и изучение его взаимодействия с другими питательными веществами, влияние на генетическую систему, регуляцию экспрессии генов, сигнальные механизмы в клетке и их коммуникацию, а также эффекты высоких доз токоферола на организм крупного рогатого скота. Поэтому данный обзор представляет собой систематизацию и сравнительный анализ экспериментальных данных, посвященных изучению свойств и эффективности использования витамина Е в кормлении молочного скота. Результаты множества исследований подтверждают актуальность данной проблематики, учитывая значимость витамина Е в организме и невозможности восполнения его через корма и кормовые ресурсы, необходимо обогащать кормовые рационы молочного скота витамином Е, при этом дозировки должны соответствовать индивидуальным потребностям и нормам кормления для различных половозрастных и технологических групп.

References

1. Дуборезов В. М. Кормление молочных коров по детализированным нормам. Молочное и мясное скотоводство. 2020;(4):52–54. DOI: https://doi.org/10.33943/MMS.2020.19.15.009 EDN: ZHFBNW

Duborezov V. M. Dairy cow feeding and nutrition according to detailed nutrition requirements. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2020;(4):52–54. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33943/MMS.2020.19.15.009

2. Полищук Т. В., Бондаренко В. В. Изменчивость факториальной зависимости уровня молочной продуктивности коров от лактации. Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2021;(15):237–245. DOI: https://doi.org/10.47612/2220-8755-2020-15-237-245 EDN: WDMAMD

Polishchuk T. V., Bondarenko V. V. The factor's dependence variability of the level of cow's productivity from lactation. *Aktual'nye voprosy pererabotki myasnogo i molochnogo syr'ya* = Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials. 2021;(15):237–245. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47612/2220-8755-2020-15-237-245

3. Шобель П., Сучкова И. Кормовые добавки АПЦ-высокая продуктивность + хорошее здоровье коров. Наше сельское хозяйство. 2020;(24(248)):50–53.

Shobel' P., Suchkova I. APC feed additives - high productivity + good cow health. *Nashe sel'skoe khozyaystvo*. 2020;(24(248)):50–53. (In Russ.).

4. Теребова С. В., Гусаров И. В., Обряева О. Д. Молочное животноводство: проблемы повышения экономической эффективности на основе оптимизации кормления (часть 1). Молочное и мясное скотоводство. 2023;(3):50–56. DOI: https://doi.org/10.33943/MMS.2023.48.98.009 EDN: BKBFNY

Terebova S. V., Gusarov I. V., Obryaeva O. D. Dairy cattle husbandry: problems of increasing economic efficiency based on feeding optimization (part 1). *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2023;(3):50–56. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33943/MMS.2023.48.98.009

5. Некрасов Р. В., Головин А. В., Махаев Е. А., Аникин А. С., Первов Н. Г., Стрекозов Н. И., [и др.]. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: монография. М.: РАН, Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, 2018. 290 с. Режим доступа: https://animal-ration.ru/wp-content/uploads/2019/02/1nekrasova_r_v_golovina_a_v_makhaeva_e_a_red_normy_potrebnost.pdf

Nekrasov R. V., Golovin A. V., Makhaev E. A., Anikin A. S., Pervov N. G., Strekozov N. I., [et al.]. Normy potrebnostey molochnogo skota i sviney v pitatel'nykh veshchestvakh: monografiya. Moscow: *RAN, Federal'nyy nauchnyy tsentr zhivotnovodstva – VIZh imeni akademika L. K. Ernsta*, 2018. 290 p. URL: https://animal-ration.ru/wp-content/uploads/2019/02/1nekrasova_r_v_golovina_a_v_makhaeva_e_a_red_normy_potrebnost.pdf

6. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7 th ed. National Academies Press. Washington, D. C., 2001. 381 p. URL: https://profsite.um.ac.ir/~kalidari/software/NRC/HELP/NRC%202001.pdf

7. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 8 th ed. National Academies Press, 2021. 484 p. DOI: https://doi.org/10.17226/25806

8. Steinshamn H., Leiberb F. Department of Revision of Vitamin E recommendations for dairy cows in organic agriculture: a review-based approachhttps. Biological Agriculture & Horticulture. An International Journal for Sustainable Production Systems. 2023;39(4):223–246. DOI: https://doi.org/10.1080/01448765.2023.2200204

9. Doğru Pekiner B. Vitamin E as an antioxidant. Ankara Universitesi Eczacilik Fakultesi Dergisi. 2003;32(4):243–267. DOI: https://doi.org/10.1501/Eczfak_0000000393

10. Niki E. Lipid oxidation that is, and is not, inhibited by vitamin E: Consideration about physiological functions of vitamin E. Free Radical Biology and Medicine. 2021;176:1–15. DOI: https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2021.09.001

11. Bouwstra R. J., Nielen M., Stegeman J. A., Dobbelaar P., Newbold J. R., Jansen E. H. J. M., van Werven T. Vitamin E supplementation during the dry period in dairy cattle. Part I: adverse effect on incidence of mastitis postpartum in a double-blind randomized field trial. Journal of Dairy Science. 2010;93(12):5684–5695. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2010-3159

12. Idamokoro E. M., Falowo A. B., Oyeagu C. E., Afolayan A. J. Multifunctional activity of vitamin E in animal and animal products: A review. Journal of Animal Science. 2020;91(1):e13352. DOI: https://doi.org/10.1111/asj.13352

13. Ralla T., Kluenter A. M., Litta G., Müller M. A., Bonrath W., Schäfer C. Over 100 years of vitamin E: An overview from synthesis and formulation to application in animal nutrition. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2024;108(3):646–663. DOI: https://doi.org/10.1111/jpn.13919

14. Peh H. Y., Tan W. D., Liao W., Wong W. F. Vitamin E therapy beyond cancer: Tocopherol versus tocotrienol. Pharmacology & Therapeutics. 2016;162(6):152–169. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2015.12.003

15. Bonrath W., Wyss A., Litta G., Baldeniu K., von dem Bussche&Hünnefeld L., Hilgemann E., Hoppe P., Stürmer R., Netscher T. Vitamins, 4. Vitamin E (Tocopherols, Tocotrienols). Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 2021;1–24. DOI: https://doi.org/10.1002/14356007.o27_o07.pub2

16. Traber M. G., Head B. Vitamin E: How much is enough, too much and why! Free Radical Biology and Medicine. 2021;177:212–225. DOI: https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2021.10.028

17. McDowell L. R., Williams S. N., Hidiroglou N., Njeru C. A., Hill G. M., Ochoa L., Wilkinson N. S. Vitamin E Supplementation for the Ruminant. Animal Feed Science and Technology. 1996;60(3-4):273–296. DOI: https://doi.org/10.1016/0377-8401(96)00982-0

18. Azzi A., Stocker A. Vitamin E: non-antioxidant roles. Progress in Lipid Research. 2000;39(3):231–255. DOI: https://doi.org/10.1016/S0163-7827(00)00006-0

19. Scherf H., Machlin L. J., Frye T. M., Krautmann B. A., Williams S. N. Vitamin E Biopotency: Comparison of Various 'Natural-Derived' and Chemically Synthesized Alpha-Tocopherols. Animal Feed Science and Technology. 1996;59(1-3):115–126. DOI: https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00892-6

20. Leal L. N., Jensen S. K., Bello J. M., Den Hartog L. A., Hendriks W. H., Martín-Tereso J. Bioavailability of α-tocopherol stereoisomers in lambs depends on dietary doses of all-rac- or RRR- α-tocopheryl acetate. Animal. 2019;13(9):1874–1882. DOI: https://doi.org/10.1017/S1751731118003373

21. Schmölz L., Birringer M., Lorkowski S., Wallert M. Complexity of vitamin E metabolism. World Journal of Biological Chemistry. 2016;7(1):14–43. DOI: https://doi.org/10.4331/wjbc.v7.i1.14

22. Dersjant-Li Y, Peisker M. Utilization of stereoisomers from alpha-tocopherol in livestock animals. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2010;94(4):413–421. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00924.x

23. Vagni S., Saccone F., Pinotti L., Baldi A. Vitamin E Bioavailability: Past and Present Insights. Food and Nutrition Sciences. 2011;2(10):1088–1096. DOI: https://doi.org/10.4236/fns.2011.210146

24. Havard S., Leiber F. Revision of Vitamin E recommendations for dairy cows in organic agriculture: a review-based approach. Biological Agriculture & Horticulture. 2023;39(4):223–246. DOI: https://doi.org/10.1080/01448765.2023.2200204

25. Quek S. Y., Chu B. S., Baharin B. S. Commercial extraction of vitamin E from food sources. In: Preedy V, Watson R, editors. The encyclopedia of vitamin E. Wallingford: CAB International, 2007. pp. 140–152. URL: https://www.researchgate.net/publication/288516996_Commercial_extraction_of_vitamin_E_from_food_sources

26. Lashkari S., Jensen S. K., Bernes G. Biodiscrimination of alpha-tocopherol stereoisomers in plasma and tissues of lambs fed different proportions of all-rac-alpha-tocopheryl acetate and RRR-alpha-tocopheryl acetate. Journal of Animal Science. 2019;97(3):1222–1233. DOI: https://doi.org/10.1093/jas/skz011

27. Jensen S. K., Lauridsen C. α-Tocopherol Stereoisomers. Vitamins & Hormones. 2007;76:281–308. DOI: https://doi.org/10.1016/S0083-6729(07)76010-7

28. Kidane A., Nesheim I. L., Larsen H. J. S., Thuen E., Jensen S. K., Steinshamn H. Effects of supplementing mid-lactation dairy cows with seaweed and vitamin E on plasma and milk α -tocopherol and antibody response to immunization. Journal of Agricultural Sciences. 2015;153(5):929–942. DOI: https://doi.org/10.1017/S0021859615000052

29. EFSA Panel on Additives and Products or Substances Used in Animal Feed (FEEDAP). Scientific Opinion on the Safety and Efficacy of Vitamin E as a Feed Additive for All Animal Species. EFSA Journal. 2010;8(6):1635. DOI: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1635

30. Bjorneboe A., Bjorneboe G. E., Drevon C. A. Absorption, transport and distribution of vitamin E. Journal of Nutrition. 1990;120(3):233–242. DOI: https://doi.org/10.1093/jn/120.3.233

31. Wang X., Quinn P. J., Vitamin E and its function in membranes. Progress in Lipid Research. 1999;38(4):309–336. DOI: https://doi.org/10.1016/s0163-7827(99)00008-9

32. Reboul E. Vitamin E Bioavailability: Mechanisms of Intestinal Absorption in the Spotlight. Antioxidants. 2017;6(4):95. DOI: https://doi.org/10.3390/antiox6040095

33. Brigelius-Flohé R., Kelly F. J., Salonen J. T., Neuzil J., Zingg J. M., Azzi A. The European perspective on vitamin E: current knowledge and future research. The American Journal of Clinical Nutrition. 2002;76(4):703–716. DOI: https://doi.org/10.1093/ajcn/76.4.703

34. Weiser H., Riss G., Kormann A. W. Biodiscrimination of the eight alpha-tocopherol stereoisomers results in preferential accumulation of the four 2R forms in tissues and plasma of rats. The Journal of Nutrition. 1996;126(10):2539–2549. DOI: https://doi.org/10.1093/jn/126.10.2539

35. Burton G. W., Traber M. G., Acuff R. V., Walters D. N., Kayden H., Hughes L., Ingold K. Human plasma and tissue α-tocopherol concentrations in response to supplementation with deuterated natural and synthetic vitamin E. The American Journal of Clinical Nutrition 1998;67(4):669–684. DOI: https://doi.org/10.1093/ajcn/67.4.669

36. Cassano R. Vitamin E chemistry, biological activity and benefits on the skin. Handbook of diet, nutrition and the skin. 2012;2(1):144–163. DOI: https://doi.org/10.3920/978-90-8686-729-5_9

37. Lee G. Y., Han S. N. The Role of Vitamin E in Immunity. Nutrients. 2018;10(11):1614. DOI: https://doi.org/10.3390/nu10111614

38. Визнер Э. Кормление и плодовитость с.-х. животных. Пер. с нем. О. Н. Преображенского. М.: Колос, 1976. 158 с.

Vizner E. Feeding and fertility of farm animals. *Per. s nem.* O. N. Preobrazhenskogo. Moscow: *Kolos*, 1976. 158 p.

39. Blatt D. H., Pryor W. A., Mata J. E., Rodriguez-Proteau R. Re-evaluation of the relative potency of synthetic and natural α-tocopherol: Experimental and clinical observations. The Journal of Nutritional Biochemistry. 2004;15(7):380–395. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2003.12.011

40. Finch J. M., Turner R. J. Effects of selenium and vitamin E on the immune responses of domestic animals. Research in Veterinary Science. 1996;60(2):97–106. DOI: https://doi.org/10.1016/S0034-5288(96)90001-6

41. Lindqvist H., Nadeau E., Jensen S. K., Søegaard K. α-tocopherol and b-carotene in legume-grass mixtures as influenced by wilting, ensiling and type of silage additive. Grass and Forage Science. 2011;67(1):119–128. DOI: https://doi.org/10.1111/gfs.12058

42. Shingfield K. J., Salo-Väänänen P., Pahkala E., Toivonen V., Jaakkola S., Piironen V., Huhtanen P. Effect of forage conservation method, concenrate level and propylene glycol on the fatty acid composition and vitamin content of cows' milk. Journal of Dairy Research. 2005;72(3):349–361. DOI: https://doi.org/10.1017/S0022029905000919

43. Lindqvist H., Nadeau E., Jensen S. K. Alpha-tocopherol and β-carotene in legume–grass mixtures as influenced by wilting, ensiling and type of silage additive. Grass and Forage Science. 2012;67(1);119–128. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00827.x

44. Qamar A., Saeed F., Nadeem M. T., Hussain A. I., Khan M. A., Niaz B. Probing the storage stability and sensorial characteristics of wheat and barley grasses juice. Food Science & Nutrition. 2019;7(3):554–562. DOI: https://doi.org/10.1002/fsn3.841

45. Mogensen L., Kristensen T., Søegaard K., Jensen S. K., Sehested J. Alfa-tocopherol and beta-carotene in roughages and milk in organic dairy herds. Livestock Science. 2012;145(1-3):44–54. DOI: https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.12.021

46. Kalač P., Samková E. The effects of feeding various forages on fatty acid composition of bovine milk fat: a review. Czech Journal of Animal Science. 2010;55(12):521–537. DOI: https://doi.org/10.17221/2485-CJAS

47. Höjer A., Adler S., Martinsson K., Jensen S. K., Steinshamn H., Thuen E., Gustavsson A.-M. Effect of legume-grass silages and α-tocopherol supplementation on fatty acid composition and α-tocopherol, β-carotene and retinol concentrations in organically produced bovine milk. Livestock Science. 2012:148(3);268–281. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2011-5226

48. Meglia G., Jensen S. K., Lauridsen C., Waller K. P. A-Tocopherol concentration and stereoisomer composition in plasma and milk from dairy cows fed natural or synthetic vitamin E around calving. Journal of Dairy Research. 2006;73(2):227–234. DOI: https://doi.org/10.1017/S0022029906001701

49. Pekmezci D. Vitamin E and immunity. Vitamins & Hormones. 2011;86:179–215. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386960-9.00008-3

50. Bivona III J. J., Patel S., Vajdy M. Induction of cellular and molecular Immunomodulatory pathways by vitamin E and vitamin C. Expert Opinion on Biological Therapy. 2017;17(12):1539–1551. DOI: https://doi.org/10.1080/14712598.2017.1375096

51. Kuhn M. J., Sordillo L. M. Vitamin E analogs limit in vitro oxidant damage to bovine mammary endothelial cells. Journal of Dairy Science. 2021;104(6):7154–7167. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2020-19675

52. Hogan J. S., Weiss W. P., Smith K. L. Role of vitamin E and selenium in host defense against mastitis. Journal of Dairy Science. 1993;76(9):2795–2803. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77618-3

53. Politis I., Hidiroglou N., Cheli F., Baldi A. Effects of vitamin E on urokinase-plasminogen activator receptor expression by bovine neutrophils. American Journal of Veterinary Research. 2001;62(12):1934–1938. DOI: https://doi.org/10.2460/ajvr.2001.62.1934

54. Bourne N., Wathes D. C., Lawrence K. E., McGowan M., Laven R. A. The effect of parenteral supplementation of vitamin E with selenium on the healthand productivity of dairy cattle in the UK. The Veterinary Journal. 2008;177(3);381–387. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.06.006

55. Fattah A. A. M., Abd Rabo F. H. R., EL-Dieb S. M., Elkashef H. A. S. Changes in composition of colostrum of Egyptian buffaloes and Holstein cows. BMC Veterinary Research. 2012;8:19. DOI: https://doi.org/10.1186/1746-6148-8-19

56. Quigley III J. D., Bernard J. K. Effects of addition of vitamin E to colostrum on serum α-tocopherol and immunoglobulin concentrations in neonatal calves. Food and Agricultural Immunology. 1995:7(3):295–298. DOI: https://doi.org/10.1080/09540109509354887

57. Schmidt N., Luhmann T., Hüther L., Meyer U., Barth S. A., Geue L., Menge C., Frahm J., Dänicke S. Effect of vitamin E supplementation in milk replacer and Shiga toxoid vaccination on serum α-tocopherol, performance, haematology and blood chemistry in male Holstein calves First published. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2018;102(5):1167–1180. DOI: https://doi.org/10.1111/jpn.12926

58. Reddy P. G., Morrill J. L., Frey R. A. Vitamin E requirements of dairy calves. Journal of Dairy Science. 1987;70(1):123–129. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)79987-1

59. Nonnecke B. J., Foote M. R., Miller B. L., Beitz D. C., Horst R. L. Short communication: Fat-soluble vitamin and mineral status of milk. replacer-fed dairy calves: Effect of growth rate during the preruminant period. Journal of Dairy Science. 2010;93(6):2684–2690. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2009-2892

60. Mohri M. H., Seifi A., Khodadadi J. Effects of preweaning parenteral supplementation of vitamin E and selenium on hematology, serum proteins, and weight gain in dairy calves. Comparative Clinical Pathology. 2005;14(3):149–154. DOI: https://doi.org/10.1007/s00580-005-0581-3

61. Pekmezci D., Cakiroglu D. Investigation of immunomodulatory effects of levamisole and vitamin E on immunity and some blood parameters in newborn Jersey calves. Veterinary Research Communications. 2009;33(7):711–721. DOI: https://doi.org/10.1007/s11259-009-9220-9

62. Goodier G. E., Williams J. C., O'Reilly K. L., Snider T. G., Stanley C. C., Dolejsiova A. H., Williams C. C. Effects of supplemental vitamin E and lasaocid on growth and immune responses of calves challenged with Eimeriabovis. The Professional Animal Scientist. 2012;28(1):97–107. URL: https://www.researchgate.net/publication/237080842_Effects_of_supplemental_vitamin_E_and_lasalocid_on_growth_and_immune_responses_of_calves_challenged_with_Eimeria_bovis

63. Higuchi H., Nagahata H. Effects of vitamins A and E on superoxide production and intracellular signaling of neutrophils in Holstein calves. Canadian journal of veterinary research=Revue canadienne de recherche vétérinaire. 2000;64(1):69–75. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10680660/

64. Otomaru K., Saito Sh., Endo K., Kohiruimaki M., Ohtsuka H. Effect of supplemental vitamin E on the peripheral blood leukocyte population in Japanese black calves. Journal of Veterinary Medical Science. 2015;77(8):985–988. DOI: https://doi.org/10.1292/jvms.15-0060

65. Otomaru K., Miyahara T., Saita H., Yamauchi Sh., Nochi T. Effects of vitamin E supplementation on serum oxidative stress biomarkers, antibody titer after live bovine respiratory syncytial virus vaccination, as well as serum and fecal immunoglobulin A in weaned Japanese Black calves. Journal of Veterinary Medical Science. 2022;84(8):1128–1133. DOI: https://doi.org/10.1292/jvms.22-0170

66. Rajaraman V., Nonnecke B. J., Franklin S. T., Hammel D. C., Horst R. L. Effects of vitamin A and E on nitric oxide production by blood mononuclear leukocytes from neonatal calves fed milk replacer. Journal of Dairy Science. 1999;81(12):3278–3285. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75892-8

67. Carter J. N., Gill D. R., Krehbiel C. R., Confer A. W., Smith R. A., Lalman D. L., Claypool P. L., McDowell L. R. Vitamin E supplementation of newly arrived feedlot calves. Journal of Animal Science. 2005;83(8):1924–1932. DOI: https://doi.org/10.2527/2005.8381924x

68. Urban-Chmiel R., Hola P., Lisiecka U., Wernicki A., Puchalski A., Dec M., Wysocka M. An evaluation of the effects of α-tocopherol and ascorbic acid in bovine respiratory disease complex occurring in feedlot calves after transport. Livestock Science. 2011;141(1):53–58. DOI: https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2011.05.003

69. Waldner C. L., Uehlinger F. D. Factors associated with serum vitamin A and vitamin E concentrations in beef calves from Alberta and Saskatchewan and the relationship between vitamin concentrations and calf health outcomes. Canadian Journal of Animal Science. 2017;97(1):65–82. DOI: https://doi.org/10.1139/cjas-2016-0055

70. Wernicki A., Stachura R., Hola P., Puchalski A., Dec M., Stęgierska D., Zurek A., Urban-Chmiel R. Efficacy of florfenicol and flunixin followed with vitamin E and/or C on selected oxidative and inflammatory mechanisms in young cattle under transport and adaptation stress. Medycyna Weterynaryjna. 2018;74(4):266–271.DOI: https://dx.doi.org/10.21521/mw.6090

71. Sultana J. R., Chandra A. S., Ramana D. B. V., Raghunandan T., Prakash M. G., Venkateswarlu M. Effect of supplemental chromium, vitamin E and selenium on biochemical and physiological parameters of Holstein Friesian calves under heat stress. Indian Journal of Animal Research. 2022;56(8):921–927. DOI: https://doi.org/10.18805/IJAR.B-4525

72. Cipriano J. E., Morrill J. L., Anderson N. V. Effect of dietary vitamin E on immune responses of calves. Journal of Dairy Science; 1982;65(12):2357–2365. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82509-5

73. Samanta A. K., Dass R. S., Rawat M., Mishra S. C., Mehra U. R. Effect of dietary vitamin E supplementation on serum α-tocopherol and immune status of crossbred calves. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2006;19(4):500–506. DOI: https://doi.org/10.5713/ajas.2006.500

74. Majlesi A., Yasini S. P., Azimpour S., Mottaghian P. Evaluation of oxidative and antioxidant status in dairy calves before and after weaning. Bulgarian Journal of Veterinary Medicine. 2021;24(2):184–190. DOI: https://doi.org/10.15547/bjvm.2270

75. Dersjant-Li Y., Jensen S. K., Bos L. W., Peisker M. R. Bio-discrimination of α-tocopherol Stereoisomers in Rearing and Veal Calves Fed Milk Replacer Supplemented with All-rac-α-tocopheryl acetate. International Journal for Vitamin and Nutrition Research. 2009;79(4):199–211. DOI: https://doi.org/10.1024/0300-9831.79.4.199

76. Lashkari S., Jensen S. K., Vestergaard M. Response to different sources of vitamin E orally injected and to various doses of vitamin E in calf starter on the plasma vitamin E level in calves around weaning. Animal. 2022;16(4):100492. DOI: https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100492

77. Kalač P. Carotenoids, ergosterol and tocopherols in fresh and preserved herbage and their transfer to bovine milk fat and adipose tissues: A review. Journal of Agrobiology. 2012;29(1):1–13. DOI: https://doi.org/10.2478/v10146-012-0001-7

78. Hemme T., Fagerbeg A., Boelling D., Saha A., Schmeer M., Kühl R., Schier A. Cost component. In IFCN dairy report 2016 (ed. IFCN). IFCN, Kiel, Germany, 2016. pp. 44–45.

79. Chagas L. M., Bass J. J., Blache D., Burke C. R., Kay J. K., Lindsay D. R., Lucy M. C., Martin G. B., Meier S., Rhodes F. M., Roche J. R., Tchatcher W. W., Webb R. Invited review: New perspectives on the roles of nutrition and metabolic priorities in the subfertility of high-producing dairy cows. Journal of Dairy Science. 2007;90(9):4022–4032. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2006-852

80. De Bie J., Langbeen A., Verlaet A., Florizoone F., Immig I., Hermans N., Fransen E., Bols P., Leroy J. The effect of a negative energy balance status on β-carotene availability in serum and follicular fluid of nonlactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 2016;99(7):5808–5819. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2016-10870

81. Celi P., Gabai G. Oxidant/antioxidant balance in animal nutrition and health: the role of protein oxidation. Frontiers in Veterinary Science. 2015;2(9):48. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2015.00048

82. Politis I., Theodorou G., Lampidonis A. D., Kominakis A., Baldi A. Short communication: Oxidative status and incidence of mastitis relative to blood α-tocopherol concentrations in the postpartum period in dairy cows. Journal of Dairy Science. 2012;95(12):7331–7335. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2012-5866

83. Baldi A., Savoini G., Pinotti L., Monfardini E., Cheli F., DellOrto V. Effects of vitamin E and different energy sources on vitamin E status, milk quality and reproduction in transition cows. Journal of Veterinary Medicine Series A. 2000;47(10):599–608. DOI: https://doi.org/10.1046/j.1439-0442.2000.00323.x

84. Chandra G., Aggarwal A., Kumar M. S., Singh A. K., Sharma V. K., Upadhyay R. C. Effect of additional vitamin E and zinc supple- mentation on immunological changes in péripartum Sahiwal cows. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2014;98(6):1166–1175. DOI: https://doi.org/10.1111/jpn.12190

85. Bayril T., Yildiz A. S., Akdemir F., Yalcin C., Köse M., Yilmaz O. The technical and financial effects of parenteral supplementation with selenium and vitamin E during late pregnancy and the early lactation period on the productivity of dairy cattle. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2015;28(8):1133–1139. DOI: https://doi.org/10.5713/ajas.14.0960

86. Politis I. Reevaluation of vitamin E supplementation of dairy cows: bioavailability, animal health and milk quality. Animal. 2012;6(9):1427–1434 DOI: https://doi.org/10.1017/S1751731112000225

87. Goff J. P., Kimura K., Horst R. L. Effect of mastectomy on milk fever, energy, and vitamins A, E, and beta-carotene status at parturition. Journal of Dairy Science. 2002;85(6):1427–1436. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74210-0

88. Sordillo L. M. Factors affecting mammary gland immunity and mastitis susceptibility. Livestock Production Science. 2005;98(1-2):89–99. DOI: https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.10.017

89. Herdt T. H., Smith J. C. Blood-lipid and lactation-stage factors affecting serum vitamin E concentrations and vitamin E cholesterol ratios in dairy cattle. Journal of Veterinary Diagnostic Investigation. 1996;8(2):228–232. DOI: https://doi.org/10.1177/104063879600800213

90. Qu Y., Lytle K., Traber M. G., Bobe G. Depleted serum vitamin E concentrations precede left displaced abomasum in early-lactation dairy cows. Journal of Dairy Science. 2013;96(5):3012–3022. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2012-6357

91. Weiss W. P., Hogan J., Wyatt D. Relative bioavailability of all-rac and RRR vitamin E based on neutrophil function and total a-tocopherol and isomer concentrations in periparturient dairy cows and their calves. Journal of Dairy Science. 2009;92(2):720–731. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2008-1635

92. Ingvartsen K. L. Feeding-and management-related diseases in the transition cow: Physiological adaptations around calving and strategies to reduce feedingrelated diseases. Animal Feed Science and Technology. 2006;126(3-4):175–213. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.08.003

93. LeBlanc S. Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. Journal of Reproduction and Development. 2010;56(S):S29–S35. DOI: https://doi.org/10.1262/jrd.1056s29

94. Leroy J., Rizos D., Sturmey R., Bossaert P., Gutierrez-Adan A., Van Hoeck V., Valckx S., Bols P. Intrafollicular conditions as a major link between maternal metabolism and oocyte quality: a focus on dairy cow fertility. Reproduction, Fertility and Development. 2011;24(1):1–12. DOI: https://doi.org/10.1071/RD11901

95. Spears J. W., Weiss W. P. Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows. The Veterinary Journal 2008;176(1):70–76. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.015

96. Weiss W. P., Hogan J. S., Todhunter D. A., Smith K. L. Effect of vitamin E supplementation in diets with a low concentration of selenium on mammary gland health of dairy cows. Journal of Dairy Science. 1997;80(8):1728–1737. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76105-8

97. Waller P. K., Sandgren H. C., Emanuelson U., Jensen S. K. Supplementation of RRR-alpha-tocopheryl acetate to periparturient dairy cows in commercial herds with high mastitis incidence. Journal of Dairy Science. 2007;90(8):3640–3646. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2006-421

98. Suwanpanya N., Wongpratoom W., Wanapat M., Aiumlamai S., Wittayakun S., Wachirapakom C. The influence of bovine neutrophils on in vitro phagocytosis and killing of Staphylococcus aureus in heifers supplemented with selenium and vitamin E. Songklanakarin. Journal of Science and Technology. 2007;29(3):697–706.
URL: https://www.researchgate.net/publication/26469202

99. Belanche A., Kingston-Smith A. H., Newbold C. J. An integrated multi-omics approach reveals the effects of supplementing grass or grass hay with vitamin E on the rumen microbiome and its function. Frontiers in Microbiology. 2016;7:905. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00905

100. Koenig K. M., Newbold C. J., McIntosh F. M., Rode L. M. Effects of protozoa on bacterial nitrogen recycling in the rumen1. Journal of Animal Science. 2000;78(9):2431–2445. DOI: https://doi.org/10.2527/2000.7892431x

101. Naziroğlu M., Güler T., Yüce A. Effect of vitamin E on ruminal fermentation in vitro. Journal of Veterinary Medicine Series A. 2002;49(5):251–255. DOI: https://doi.org/10.1046/j.1439-0442.2002.00418.x

102. Wu Z., Guo Y., Zhang J., Deng M., Xian Z., Xiong H., Liu D., Sun B. High-Dose Vitamin E Supplementation Can Alleviate the Negative Effect of Subacute Ruminal Acidosis in Dairy Cows. Animals. 2023;13(3):486.
DOI: https://doi.org/10.3390/ani13030486

103. Juárez M., Dugan M. E., Aalhus J. L., Aldai N., Basarab J. A., Baron V. S., McAllister T. A. Effects of vitamin E and flaxseed on rumen-derived fatty acid intermediates in beef intramuscular fat. Meat Science. 2011;88(3):434–440. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.01.023

104. Hartmann M. S., Mousavi S., Bereswill S., Heimesaat M. M. Vitamin E as promising adjunct treatment option in the combat of infectious diseases caused by bacterial including multi-drug resistant pathogens – Results from a comprehensive literature survey. European Journal of Microbiology and Immunology. 2020;10(4):193–201.
DOI: https://doi.org/10.1556/1886.2020.00020

105. Hosain M. Z., Kabir S. M. L., Kamal M. M. Antimicrobial uses for livestock production in developingcountries. Veterinary World. 2021;14(1):210–221. DOI: https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.210-221

Сведения об авторе

✉ **Туаева Евгения Викторовна,** доктор с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г.о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7338-674X**, e-mail: tuaeva80@mail.ru

Information about the author

✉ **Evgeniya V. Tuaeva,** DSc in Agricultural Science, associate professor, leading researcher, the Department of Feeding Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5809-1262**, e-mail: tuaeva80@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.785–793
УДК 633.16:631.526.32

Адаптивность и урожайность нового сорта ярового ячменя Ярушник

© 2024. И. Н. Щенникова✉, Л. П. Кокина, И. Ю. Зайцева, Л. В. Панихина
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Работа выполнена в условиях Кировской области в 2021–2023 гг. Цель исследований – оценка биологических и хозяйственных свойств нового сорта ярового ячменя Ярушник, переданного на государственное сортоиспытание в 2024 г. Полевые исследования проводили в конкурсном испытании согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Новый сорт сравнивали со стандартом Родник Прикамья и ранее включенными в Госреестр сортами Памяти Родиной (2014 г.) и Боярин (2023 г.). Для оценки урожайности в разные по условиям вегетации годы и адаптивных способностей сортов использовали методики, изложенные в работах И. Н. Ворончихиной с соавторами (2002), А. А. Гончаренко (2005) и А. В. Кильчевского (2005). Сорт создан методом внутривидовой ступенчатой гибридизации с двукратным отбором. Сочетание в гибридной комбинации высокоурожайных коллекционных образцов Sv 88764 (Швеция) и Annabel (Германия) с сортом Дуэт (селекция ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, Россия) стало основой создания высокоурожайного, устойчивого к регионспецифичным стрессовым факторам среды сорта ячменя ярового Ярушник. Новый сорт среднеспелый, с высокой и стабильной по годам урожайностью (6,21 т/га), формирует крупное зерно с хорошими технологическими свойствами: натура – 705 г/л, содержание белка в зерне – 13,0 %, выход зерна – 55 %. По качеству зерна – сорт зернофуражного направления использования. Выявлена реакция изучаемых сортов ячменя на условия среды. Сравнение со стандартным сортом Родник Прикамья показало преимущество нового сорта по общей адаптационной способности (OACi = 0,37; стандарт – -0,41), относительной стабильности генотипа (Sgi = 35,62; стандарт – 45,16), селекционной ценности генотипа (СЦГ$_i$ = 3,08; стандарт – 1,76), по комплексному индексу также явное превосходство сорта Ярушник (1,09) перед стандартом (0,74).

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., *индексная оценка, стрессоустойчивость, генетическая гибкость, стабильность, селекционная ценность*

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

Авторы благодарят Т. К. Шешегову, доктора биол. наук, заведующую лабораторией иммунитета и защиты растений ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока за фитопатологическую оценку сортов ячменя, рецензентов – за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Щенникова И. Н., Кокина Л. П., Зайцева И. Ю., Панихина Л. В. Адаптивность и урожайность нового сорта ярового ячменя Ярушник. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):785–793.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.785-793

Поступила: 12.07.2024 Принята к публикации: 07.10.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Adaptability and yield of a new cultivar of spring barley Yarushnik

© 2024. Irina N. Schennikova✉, Larisa P. Kokina, Irina Yu. Zaytseva, Liubov V. Panikhina
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The research was carried out in the conditions of the Kirov region. The purpose of the study of 2021…2023 was to evaluate the biological and economic properties of a new cultivar of spring barley 'Yarushnik', transferred to the state variety testing in 2024. Field research was conducted in a competitive test according to the Methodology of the state variety testing of agricultural crops. The comparison was carried out with 'Rodnik Prikamiya' standard and the cultivars 'Pamyati Rodinoy' (2014) and 'Boyarin' (2023) previously included in the State Register. To assess the yield in different growing years and the adaptive abilities of cultivars, the methods described in the works of I. N. Voronchikhina and co-authors (2002), A. A. Goncharenko (2005) and A. V. Kilchevsky (2005) were used. The cultivar was created by the method of intraspecific stepwise hybridization with double selection. The balance in a hybrid combination of high-yielding collection samples Sv 88764 (Sweden) and Annabel (Germany) with the cultivar 'Duet' (bred by the Federal Agricultural Research Center of the North-East, Russia) became the basis for the creation of a high-yielding, resistant to region-specific environmental stress factors of the spring barley cultivar 'Yarushnik'. The new cultivar is mid-ripening, with a high and stable yield over the years (6.21 t /ha), forms a large grain with good technological properties: nature – 705 g/l, protein content in the grain – 13.0 %, grain yield – 55 %. In terms of grain quality, it is a cultivar of grain-forage use. The reaction of the studied barley varieties to environmental conditions was revealed. Comparison with the standard cultivar 'Rodnik Prikamiya' revealed the advantage of the new variety in terms of overall adaptive

ability (OACi = 0.37, standard – -0.41), relative stability of the genotype (Sgi = 35.62; standard – 45.16), breeding value of the genotype (СЦГi = 3.08; standard – 1.76). According to the complex index, the clear superiority of the 'Yarushnik' cultivar (1.09) over the standard (0.74) was also revealed.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., *index assessment, stress resistance, genetic flexibility, stability, breeding value*

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

The authors thank T. K. Sheshegova, DSc in Biological Sciences, Head of the Laboratory of Immunity and Plant Protection of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky for the phytopathological assessment of barley varieties, reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

***For citations*:** Schennikova I. N., Kokina L. P., Zaytseva I. Yu., Panikhina L. V. Adaptability and yield of a new cultivar of spring barley Yarushnik. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5): 785–793. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.785-793

Received: 12.07.2024 Accepted for publication: 07.10.2024 Published online: 30.10.2024

Яровой ячмень (*Hordeum vulgar*e L.) благодаря своим морфофизиологическим особенностям может возделываться и давать высокий и стабильный урожай зерна практически во всех регионах Российской Федерации. Культура обладает рядом преимуществ по сравнению с пшеницей и овсом [1] – отличается коротким вегетационным периодом и низкими требованиями к теплу, лучше переносит засуху, также характеризуется высокими кормовыми достоинствами [2, 3, 4]. Зерно ячменя сочетает высокую питательную ценность с большим количеством полезных веществ и витаминов, входящих в его состав [5]. В белке, содержащемся в зерне ячменя, имеются все незаменимые аминокислоты, включая особо дефицитные и наиболее ценные – лизин и триптофан [6].

Ячмень – востребованная в пищевой и сельскохозяйственной промышленности зерновая культура [7]. Большая доля зерна ячменя (75 %) используется на нужды животноводства, и относительно небольшое количество качественного сырья перерабатывается пивоваренной (8 %) и крупяной (15 %) промышленностью [8, 9]. В связи с развитием в России пивоваренной промышленности производство пивоваренного ячменя в 2023 г. выросло на 24 %, пива – на 1,8 %. Соответственно увеличились посевные площади под пивоваренным ячменем, которые в 2023 г. составили 207,1 тыс. га, превысив 2022 г. на 10 %[1]. Увеличение объёма зерна на кормовые цели, включая производство комбикормов, объясняется ростом на предприятиях АПК поголовья КРС, свиней, птицы и других видов сельскохозяйственных животных [10].

Возрастает значение ячменя и на мировом рынке. Так, согласно данным Института конъюнктуры аграрного рынка (ИКАР), за период с июля 2023 г. по июнь 2024 г. Россия впервые в истории опередила Австралию, страны ЕС и стала лидером по экспорту ячменя. Планируется, что в текущем сезоне доля ячменя на мировом рынке может составить 27 %, превысив долю РФ на мировом рынке пшеницы – 25 %. Ожидается, что экспорт ячменя в итоге составит около 7,8 млн тонн. В 2023 г. было экспортировано 5,5 млн тонн (25,8 % от произведенного)[2].

Одним из наиболее экономически эффективных приемов повышения валового сбора зерна является создание новых высокопродуктивных сортов и гибридов, внедрение которых в производство позволит повысить уровень рентабельности в 1,3–1,5 раза за счет увеличения урожайности зерновых культур на 10–20 % и снижения себестоимости в среднем на 5–15 % [11].

Следовательно, актуальными остаются задачи по созданию новых конкурентоспособных сортов, обладающих высоким потенциалом продуктивности [12, 13] и адаптивной способности [4, 14, 15].

Цель исследований – оценка биологических и хозяйственных свойств нового сорта ярового ячменя Ярушник.

Научная новизна – определение критериев подбора исходного материала и комплекса статистических методов для оценки адаптивности новых сортов ярового ячменя.

Материал и методы. Полевые исследования проводили в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров) в 2021–2023 гг. согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур[3]. В качестве стандарта принят сорт Родник Прикамья.

[1]Пивовары РФ в рамках своих агропрограмм в 2023 году увеличили сбор ячменя на 24 % [Электронный ресурс]. URL: https://www.interfax.ru/business/944754 (дата обращения: 17.06.2024).

[2]Россия в этом сельхозгоду стала лидером в экспорте ячменя [Электронный ресурс]. URL: https://www.finmarket.ru/news/6196596 (дата обращения: 17.06.2024).

[3]Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. М., 2019. 329 с.

Питомники конкурсного сортоиспытания располагались в селекционном севообороте по предшественнику чистый пар. Учетная площадь делянок составляла 10 м^2, повторность 4-кратная. Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая (гумус – 2,27–3,56 % (по Тюрину), подвижный фосфор – 167–367 мг/кг, обменный калий – 243–247 мг/кг (по Кирсанову), pH солевой вытяжки – 4,4–5,8). Обработка почвы включала – ранневесеннее боронование, внесение удобрений в дозе $N_{48}P_{48}K_{48}$, культивацию. После посева в оптимально ранние сроки (09.05.2021; 05.05.2022; 16.04.2023) проводили прикатывание. Уход за посевами заключался в обработке посевов в фазу полного кущения гербицидом Рефери (0,2 л/га) с добавлением Гран-при (0,01 кг/л). Межделяночные дорожки поддерживали в чистом и рыхлом состоянии путем проведения обработок навесными рыхлителями, между ярусами обрабатывали фрезой. Уборку проводили комбайнами Winterstaiger, в фазу полной спелости (29.07.2021, 12.08.2022, 05.08.2023).

Для определения уровня адаптивности новых сортов применяли различные статистические методы. Урожайность сортов в разные по условиям вегетации годы оценивали с использованием следующих показателей: стрессоустойчивость ($У_{min}$ – $У_{max}$), генетическая гибкость (($У_{min}$ + $У_{max}$)/2) [16], общая (ОАСi) и специфическая (σ^2 САСi) адаптационная способность, относительная стабильность (Sgi), селекционная ценность генотипа (СЦГi) [17]. Элементы структуры урожайности оценивали с использованием метода индексной оценки (частный и комплексный индексы) [18]. Для более объективного анализа полученных результатов было проведено ранжирование образцов. Каждому сорту при оценке отдельного признака или комплекса присваивали ранг, выраженный в баллах. Предпочтение в дальнейшем отдавали сортам ячменя, набравшим наименьшее количество баллов. Для проведения дисперсионного анализа[4] использовали пакет селекционных статистических программ AGROS (версия 2.07.).

Почвенно-климатические условия в годы исследований способствовали всесторонней оценке сортов ячменя. Для характеристики влагообеспеченности использовали гидротермический коэффициент (ГТК), рассчитанный по формуле Селянинова[5]. Только в 2022 г. сочетание тепла и влаги весь вегетационный период было благоприятным для роста и развития растений ячменя. В 2021 и 2023 гг. засуха в период от всходов до выхода растений в трубку снизила урожайность ячменя, не позволив сортам реализовать свои потенциальные возможности (табл. 1).

Таблица 1 – **Метеорологические условия 2021–2023 гг. (г. Киров) /**
Table 1 – **Meteorological conditions of 2021–2023 (Kirov)**

Год / Year	*Показатель (в среднем за период) / Indicator (average for the period)*	*Межфазный период / The interphase period*				*Вегетационный период / The growing season*
		всходы-кущение / seadling tillering	*кущение-выход в трубку / tillering-stooling*	*выход в трубку-колошение / stooling -earing*	*колошение-созревание / earing-maturity*	
2021	ГТК / Hydrothermal coefficient	0,43	0,39	1,64	1,76	1,23
	Температура, °С / Temperature, °С	15,9	17,8	22,2	20,3	18,8
	Сумма осадков, мм / Precipitation total, mm	20,6	14,4	69,2	143,2	173,6
2022	ГТК / Hydrothermal coefficient	0,85	3,39	0,72	1,61	1,86
	Температура, °С / Temperature, °С	9,9	16,3	16,2	19,9	15,7
	Сумма осадков, мм / Precipitation total, mm	45,3	115,8	28,0	131,1	293,1
2023	ГТК / Hydrothermal coefficient	0,82	0,74	1,14	2,27	1,71
	Температура, °С / Temperature, °С	9,4	16,7	14,1	16,7	14,8
	Сумма осадков, мм / Precipitation total, mm	20,4	24,7	38,4	163,5	222,6

[4]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 416 с.
[5]Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;20:165–177.

Результаты и их обсуждение. В 2024 г. по результатам конкурсного испытания 2021…2023 гг. на государственное сортоиспытание передан новый сорт ярового ячменя Ярушник (селекционный номер 279-18), созданный в лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (заявка № 91293/7553221, дата приоритета 15.03.2024).

Сорт создан методом внутривидовой ступенчатой гибридизации (рис.) с двукратным отбором. В 2009 г. проведен индивидуальный отбор из гибридной популяции F_2, в 2018 г. – массовый отбор по признаку «степень развития стерильных колосков».

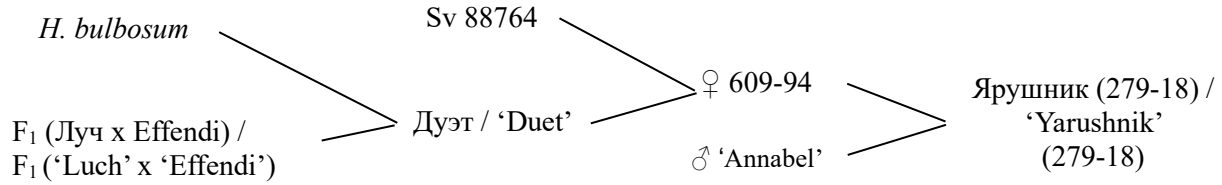


Рис. **Генеалогия сорта ячменя Ярушник /**
Fig. **Genealogy of the barley cultivar 'Yarushnik'**

Сочетание в гибридной комбинации высокоурожайных коллекционных образцов Sv 88764 (Швеция) и Annabel (Германия) с сортами селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, адаптивными к условиям возделывания в Волго-Вятском регионе, стало основой для создания высокоурожайного, устойчивого к регионспецифичным стрессовым факторам сорта ячменя ярового Ярушник. Использование в качестве родительской формы сорта Дуэт (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, создан с использованием метода экспериментальной гаплоидии), обеспечило устойчивость нового сорта к стрессовым факторам кислых дерново-подзолистых почв. Высокая комбинационная способность данного сорта подтверждена селекционной практикой: с участием сорта Дуэт в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока создан первый в России алюмотолерантный сорт ячменя ярового Новичок [19], стрессоустойчивые сорта Купец, Бионик и Красногорский. Высокоурожайный сорт немецкой селекции Annabel, использованный в качестве отцовской формы, отличался устойчивостью к полеганию и высоким качеством зерна.

Морфологическое описание сорта. Разновидность – *nutans*. У нового сорта Ярушник в фазу «полное кущение» форма куста промежуточная, листья имеют светло-зеленую окраску со слабым восковым налетом, опушение листовых влагалищ нижних листьев отсутствует. В фазу «полное колошение» встречаемость растений с наклоненным флаговым листом средняя, отмечается наличие антоциановой окраски ушек и стеблевых узлов, положение колоса – горизонтальное, ости длинные, зазубренные, с сильной антоциановой окраской кончиков. Колос двурядный соломенно-желтого цвета, цилиндрической формы, отличается сильным восковым налетом, средней длиной (6-7 см) и плотностью (13-14 члеников колосового стержня на 4 см в средней части колоса). Растения сорта имеют прочную полую соломину средней толщины (диаметр нижнего междоузлия составляет в среднем 21 мм).

Хозяйственные и биологические свойства сорта. На всех этапах селекционного процесса, начиная с селекционного питомника, отобранные линии оценивали по урожайности и проходили жесткую браковку в полевых условиях по устойчивости к полеганию и болезням. В конкурсном сортоиспытании новый сорт сравнивали со стандартом и ранее районированными по Волго-Вятскому региону сортами Памяти Родиной (с 2014 г.) и Боярин (с 2023 г.).

Урожайность сортов ячменя в конкурсном сортоиспытании в среднем за годы изучения составила 4,50±0,06 т/га. В наиболее благоприятных погодных условиях 2022 г. все сорта превысили стандарт Родник Прикамья, сформировав урожайность более 6,0 т/га. В неблагоприятных условиях вегетации 2021 г. выделились Боярин и Ярушник, в 2023 г. только сорт Ярушник достоверно превысил стандарт. Анализ средней по годам урожайности сортов по критерию Дункана (различные латинские буквы) выявил достоверное превышение над стандартом сортов Боярин и Ярушник, аналогичные результаты получены и при индексной оценке (табл. 2).

Таблица 2 – **Урожайность сортов ячменя в конкурсном сортоиспытании /**
Table 2 – **Yield of barley cultivars in competitive variety trial**

Сорт (фактор А) / Cultivar (factor A)	*Урожайность, т/га / Yield capacity, t/ha*				*Частный индекс / Partial index*	*Ранг, балл / Rank, point*
	2021 г.	*2022 г.*	*2023 г.*	*среднее / average*		
Родник Прикамья, ст. / 'Rodnik Prikamiya', st.	2,58	5,31	4,10	4,00 ab*	0,90	3
Памяти Родиной / 'Pamyati Rodinoj'	2,55	6,11	4,66	4,44 bc	1,00	2
Боярин / 'Boyarin'	3,38	6,55	4,39	4,77 cd	1,07	1
Ярушник / 'Yarushnik'	3,12	6,21	5,01	4,78 d	1,07	1
Среднее / Average	2,91 a	5,86 c	4,54 b	4,50	-	-
$НСР_{05}$ фактор А / LSD_{05} factor A	0,39	0,69	0,72	0,60	-	-
$НСР_{05}$ фактор В (год) / LSD_{05} factor B (year)	-	-	-	0,21	-	-

*По критерию Дункана средние значения, обозначенные разными буквами, различаются существенно /
*According to the Duncan criterion, the average values indicated by different letters differ significantly

Различающиеся погодные условия, сложившиеся в период вегетации растений, способствовали оценке пластичности и адаптивности новых сортов. Оценка сортов конкурсного сортоиспытания показала, что по показателю «стрессоустойчивость» выделились стандарт Родник Прикамья и Ярушник, у которых снижение урожайности в 2021 г., в сравнении с урожайностью 2022 г. ($У_{min} - У_{max}$), было минимальным в опыте, что характеризует их как более устойчивых к изменяющимся погодным условиям. Однако следует отметить, что сорта Ярушник и Боярин формировали высокую урожайность в период вегетации независимо от погодных условий, что говорит об их генетической гибкости ($(У_{min} + У_{max})/2$), характеризующей соответствие между генотипом и условиями среды [17] (табл. 3).

Таблица 3 – **Адаптивность новых сортов ячменя (2021–2023 гг.) /**
Table 3 – **Adaptability of new barley cultivars (2021–2023)**

Сорт / Cultivar	*Показатель / Indicator*			
	$У_{min} - У_{max}$	*ранг, балл / rank, point*	$(У_{min} + У_{max})/2$	*ранг, балл / rank, point*
Родник Прикамья, ст. / 'Rodnik Prikamiya', st.	-2,73	1	3,95	4
Памяти Родиной / 'Pamyati Rodinoj'	-3,56	4	4,33	3
Боярин / 'Boyarin'	-3,17	3	4,97	1
Ярушник / 'Yarushnik'	-3,09	2	4,67	2

Примечания: $(У_{min} - У_{max})$ – стрессоустойчивость; $(У_{min} + У_{max})/2$ – генетическая гибкость /
Notes: $(У_{min} - У_{max})$ – stress resistance; $(У_{min} + У_{max})/2$ – genetic flexibility

При оценке общей адаптационной способности (ОАСi) в исследованиях также выделились сорта Ярушник и Боярин, что полностью согласуется с данными, представленными в таблицах 2 и 3. Наименьшее отклонение от ОАС (σ2САСi) по урожайности отмечено у сорта Родник Прикамья, однако это можно объяснить низкой урожайностью сорта в опыте за все годы изучения. Высокая экологическая стабильность нового сорта Ярушник подтверждается величиной показателя относительной стабильности генотипа (Sgi), который, по мнению [18], является основным при определении стабильности сорта. Также отмечено преимущество сортов Ярушник и Боярин по показателю селекционной ценности генотипа (СЦГi), который характеризует сорт одновременно по урожайности и стабильности (табл. 4).

Применение ранжирования сортов по параметрам адаптивности показало преимущество нового сорта ячменя ярового Ярушник по устойчивости к неблагоприятным условиям среды по сравнению со стандартом и ранее районированными сортами.

Оценка нового сорта Ярушник с применением метода индексов показала, что он имеет преимущество перед сортами конкурсного сортоиспытания (частный индекс больше 1,0) практически по всем селекционно-ценным признакам (табл. 5). Сравнение со стандартом Родник Прикамья по комплексному индексу также выявило явное превосходство сорта Ярушник.

Таблица 4 – **Адаптационная способность и экологическая стабильность сортов ячменя /**
Table 4 – **Adaptive capacity and ecological stability of barley cultivars**

Сорт / Cultivar	*OACi*	*σ^2 CACi*	*Sgi*	*СЦГi*	*∑* рангов / The sum of the ranks*	*Ранг / Rank*
Родник Прикамья, ст. / 'Rodnik Prikamiya', st.	-0,41	2,63	45,16	1,76	19	3
Памяти Родиной / 'Pamyati Rodinoj'	0,03	4,51	47,53	2,07	19	3
Боярин / 'Boyarin'	0,36	4,16	39,78	2,82	10	**2**
Ярушник / 'Yarushnik'	0,37	3,37	35,62	3,08	9	**1**

Примечания: OACi – общая адаптационная способность; σ^2 CACi – показатель стабильности генотипа; Sgi – относительная стабильность генотипа, СЦГi – селекционная ценность генотипа, *– сумма рангов по всем изучаемым параметрам (табл. 2, 3, 4) /

Notes: OACi – is the general adaptive ability; σ^2 CACi – is the indicator of genotype stability; Sgi – is the relative stability of the genotype; СЦГi – is the breeding value of the genotype, * is the sum of ranks for all studied parameters (Tables 2, 3, 4)

Таблица 5 – **Характеристика перспективного сорта ячменя ярового Ярушник (2021-2023 гг.)**
***Table 5* – Characteristics of a promising cultivar of spring barley 'Yarushnik' (2021-2023)**

Параметр / Parameter	*Ярушник / 'Yarushnik'*	*Частный индекс / Partial index*	*Родник Прикамья / 'Rodnik Prikamiya'*	*Частный индекс / Partial index*
Урожайность, т/га / Yield capacity, t/ha	4,78	1,07	4,00	0,90
Вегетационный период, дни / Growing season, days	78	1,00	78	1,00
Устойчивость к полеганию, балл / Lodging resistance, points	4,8	0,96	4,5	0,92
Кустистость общая, шт/растение / Total tilling capacity, psc/plant	2,5	1,16	2,0	1,00
Кустистость продуктивная, шт/раст. / Productive tilling capacity, psc/plant	2,1	1,15	1,7	0,97
Длина колоса, см / Ear length, cm	6,9	0,99	7,4	1,07
Количество колосков в колосе, шт. / Number of spikes, psc.	21,3	1,13	20,3	1,08
Количество зерен в колосе, шт. / Number of grains, psc.	19,5	1,04	18,6	0,98
Масса зерна с главного колоса, г / Mass of grain per ear, g	0,92	1,00	0,90	0,97
Масса зерна с растения, г / Mass of grain per plant, g	1,91	1,13	1,57	0,88
Масса 1000 зёрен, г / 1000 grain mass, g	45,1	1,01	42,5	0,93
Выживаемость, шт/м^2 / Surviving plant, psc/m^2	397	0,83	457	1,07
Продуктивный стеблестой / Productive plant stand	641	0,95	700	1,04
Комплексный индекс / Complex index	1,09	-	0,74	-

Новый сорт ярового ячменя Ярушник характеризуется высокой стабильной по годам урожайностью. Сорт среднеспелый, продолжительность вегетационного периода от 69 до 86 дней. Формирует крупное зерно с хорошими технологическими свойствами: натура – 705 г/л,

содержание белка в зерне – 13,0 %, выход зерна – 55 %. По качеству зерна – сорт зернофуражного использования.

Оценка на устойчивость к наиболее распространенным в регионе болезням показала, что сорт Ярушник на искусственных инфекционных фонах характеризуется умеренной устойчивостью к фузариозно-гельминтоспориозным корневым гнилям и средней устойчивостью к сетчатой и темно-бурой пятнистостям. На естественном фоне сорт практически не поражался пыльной головней.

Заключение. В результате многолетней селекционной работы подтверждена эффективность использования в качестве исходных форм для селекции адаптивных сортов ярового ячменя: Дуэт – толерантный к регионспецифичным стрессовым факторам, Annabel – высокоурожайный, устойчивый к полеганию. Создан и передан на государственное сортоиспытание новый сорт ячменя ярового Ярушник. Сорт среднеспелый, формирует стабильно высокий урожай зерна хорошего качества. Оценка на основе комплекса статистических методов по урожайности и элементам ее структуры в разные по погодным условиям годы показала, что сорт Ярушник характеризуется высокой, стабильной по годам урожайностью, имеет преимущество перед сортами конкурсного сортоиспытания практически по всем селекционно-ценным признакам. Доказано превосходство нового сорта по устойчивости к неблагоприятным условиям Волго-Вятского региона в сравнении со стандартом и ранее районированными сортами.

Список литературы

1. Прядун Ю. П., Логинов Ю. П. Оценка и использование коллекции ВИР в селекции ярового ячменя фуражного направления в Челябинской области. Тюмень: Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО «ГАУ Северного Зауралья», 2024. 222 с. Режим доступа: https://www.gausz.ru/nauka/setevye-izdaniya/2024/pryadun.pdf

2. Байкалова Л. П., Серебренников Ю. И., Янова М. А. Яровой ячмень в Восточной Сибири. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2014. 372 с.
Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_44187899_55756356.pdf

3. Козубовская Г. В., Козубовская О. Ю., Балакшина В. И. Сравнительная характеристика ярового ячменя разного эколого-географического происхождения. Научно-агрономический журнал. 2017;(1(100)):37–40. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=29430825 EDN: YUAXGB

4. Николаев П. Н. Юсова О. А., Аниськов Н. И., Сафонова И. В., Ряполова Я. В. Новый среднеспелый сорт ярового ячменя Омский 101. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019;180(2):83–88. DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-83-88 EDN: SQKNPJ

5. Шулепова О. В., Белкина Р. И. Качество зерна сортов ячменя в условиях Северного Зауралья. Вестник КрасГАУ. 2017;(10):9–14. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=30513491 EDN: ZRSXAB

6. Кошеляев В. В., Карпова Г. А., Кошеляева И. П. Научное обоснование формирования продуктивности ярового ячменя под влиянием приемов технологии возделывания в лесостепи Среднего Поволжья: монография. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2013. 218 с.
Режим доступа: https://elibrary.ru/umyrul EDN: UMYRUL

7. Носков А. Н., Батакова О. Б., Корелина В. А. Сравнительная оценка гибридных форм ярового ячменя по урожайности и адаптивным свойствам в условиях Северного региона РФ. Земледелие. 2022;(1):35–39.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=47930715 EDN: CFKKKP

8. Паршуткин Ю. Ю., Николаев П. Н., Юсова О. А. Анализ сопряженности хозяйственно-ценных признаков ячменя с условиями возделывания. Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2020;29:198–204.
DOI: https://doi.org/10.30679/2587-9847-2020-29-198-204 EDN: IBNBFX

9. Дедушев И. А., Болдырев М. А. Оценка хозяйственно полезных признаков и свойств сортов ярового ячменя. Растениеводство и луговодство: мат-лы Всеросс. научн. конф. с международным участием. М.: изд-во РГАУ-МСХА, 2020. С. 497–500. DOI: https://doi.org/10.26897/978-5-9675-1762-4-2020-110 EDN: UVRADN

10. Аслаева С. Ш. Пути повышения эффективности использования зерновых культур и продуктов их переработки в Республике Башкортостан. Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право. 2021;31(5):743–749. DOI: https://doi.org/10.35634/2412-9593-2021-31-5-743-749 EDN: AQXEBJ

11. Газе В. Л., Ионова Е. В., Марченко Д. М., Лиховидова В. А. Сортосмена озимой мягкой пшеницы как механизм увеличения продуктивности и устойчивости к абиотическим факторам среды. Зерновое хозяйство России. 2018;(6):16–20. DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-60-6-16-20 EDN: YRLLLV

12. Антошина О. А., Виноградов Д. В., Лапшинова О. А. Новый сорт озимой мягкой пшеницы Есения. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2017;(4(36)):5–7. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=32205940 EDN: ABKZTI

13. Бойко Е. С. Салфетников А. А., Репко Н. В., Назаренко Л. В. Агродеум – новый сорт двурядного озимого ячменя. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014;(104):1245–1252. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=22843037 EDN: TFWSTL

14. Максимов Р. А. Адаптивная способность, экологическая пластичность и стабильность сортов ячменя в условиях юго-запада Свердловской области. Достижения науки и техники АПК. 2011;(6):20–21. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=16497012 EDN: NXACQP

15. Юсова О. А., Николаев П. Н. Изменение урожайности и качества зерна ячменя ярового с повышением адаптивности сортов. Зерновое хозяйство России. 2021;(2):75–80. DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-74-2-75-80 EDN: OCAPVL

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

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

18. Ворончихина И. Н., Рубец В. С., Ворончихин В. В., Пыльнев В. В. Комплексная оценка яровой мягкой пшеницы в условиях ЦРНЗ с применением метода индексов. АгроЭкоИнфо. 2022;6. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=50209567 EDN: ILBIDC

19. Родина Н. А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. 488 с.

References

1. Pryadun Yu. P., Loginov Yu. P. Evaluation and use of the VIR collection in the breeding of spring barley of the forage use in the Chelyabinsk region. Tyumen': *Redaktsionno-izdatel'skiy otdel FGBOU VO «GAU Severnogo Zaural'ya»*, 2024. 222 p. URL: https://www.gausz.ru/nauka/setevye-izdaniya/2024/pryadun.pdf

2. Baykalova L. P., Serebrennikov Yu. I., Yanova M. A. Spring barley in Eastern Siberia. Krasnoyarsk: *Krasnoyarskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet*, 2014. 372 p. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_44187899_55756356.pdf

3. Kozubovskaya G. V., Kozubovskaya O. Yu., Balakshina V. I. Comparative characteristics of spring barley of different eco-geographical origins. *Nauchno-agronomicheskiy zhurnal* = Scientific Agronomy Journal. 2017;(1(100)):37–40. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29430825

4. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Aniskov N. I., Safonova I. V., Ryapolova J. V. New mid-season spring barley cultivar Omsky 101. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019;180(2):83–88. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-83-88

5. Shulepova O. V., Belkina R. I. Grain quality of barley varieties in the conditions of Northern Trans-Urals. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2017;(10):9–14. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=30513491

6. Koshelyaev V. V., Karpova G. A., Koshelyaeva I. P. Scientific substantiation of the formation of productivity of spring barley under the influence of techniques of cultivation technology in the forest-steppe of the Middle Volga region: monograph. Penza: *Penzenskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet*, 2013. 218 p. URL: https://elibrary.ru/umyrul

7. Noskov A. N., Batakova O. B., Korelina V. A. Comparative evaluation of hybrid forms of spring barley by yield and adaptive properties under the conditions of the Northern region of the Russian Federation. *Zemledelie*. 2022;(1):35–39. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=47930715

8. Parshutkin Yu. Yu., Nikolaev P. N., Yusova O. A. Analysis of the conjugation of economically valuable traits of barley with the cultivation conditions. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya*. 2020;29:198–204. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30679/2587-9847-2020-29-198-204

9. Dedushev I. A., Boldyrev M. A. Assessment of economically valuable traits and properties of spring barley cultivars. Crop and meadow farming: Proceedings of the All-Russian Scientific conference with international participation. Moscow: *izd-vo RGAU-MSKhA*, 2020. pp. 497–500. DOI: https://doi.org/10.26897/978-5-9675-1762-4-2020-110

10. Aslaeva S. Sh. Ways to increase the effective use of grains and products of their processing in the Republic of Bashkortostan. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Ekonomika i pravo* = Bulletin of Udmurt University. Series Economics and Law. 2021;31(5):743–749. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35634/2412-9593-2021-31-5-743-749

11. Gaze V. L., Ionova E. V., Marchenko D. M., Likhovidova V. A. Variety changing of winter soft wheat as a method to improve productivity and resistance to abiotic environmental factors. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2018;(6):16–20. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-60-6-16-20

12. Antoshina O. A., Vinogradov D. V., Lapshinova O. A. New variety of winter soft wheat Eseniya. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva* = Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2017;(4(36)):5–7. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=32205940

13. Boyko E. S. Salfetnikov A. A., Repko N. V., Nazarenko L. V. Agrodeum – new variety of two-row winter barley. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2014;(104):1245–1252. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=22843037

14. Maksimov R. A. Adaptive capacity, ecological plasticity and stability of barley varieties in the southwestern region Sverdlovsk. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2011;(6):20–21. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=16497012

15. Yusova O. A., Nikolaev P. N. The change of productivity and quality of spring barley grain with the improvement of the varieties' adaptability. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2021;(2):75–80. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-74-2-75-80

16. Goncharenko A. A. On adaptivity and ecological resistence of grain crop varieties. *Vestnik RASKhN*. 2005;(6):49–53. (In Russ.).

17. Kil'chevskiy A. V. Ecological organization of the breeding process. Ecological genetics of cultivated plants: Proceedings of the school of young scientists. Krasnodar: *RASKhN, Vsesoyuznyy nauchno-issledovatel'skiy institut risa*, 2005. pp. 40–55.

18. Voronchikhina I. N., Rubets V. S., Voronchikhin V. V., Pylnev V. V. Comprehensive assessment of spring soft wheat in terms of CRNZ by index method. *AgroEkoInfo*. 2022;6. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=50209567

19. Rodina N. A. Barley breeding in the North-East of the Non-Chernozem region. Kirov: *Zonal'nyy NIISKh Severo-Vostoka*, 2006. 488 p.

Сведения об авторах

✉ **Щенникова Ирина Николаевна,** доктор с.-х. наук, член-корреспондент РАН, заведующая лабораторией селекции и первичного семеноводства ячменя, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5143-9246**, e-mail: i.schennikova@mail.ru

Кокина Лариса Павловна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Зайцева Ирина Юрьевна, кандидат биол. наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1228-2151**

Панихина Любовь Владимировна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2227-7716**

Information about the authors

✉ **Irina N. Shchennikova,** DSc in Agricultural Science, corresponding member of the RAS, Head of the Laboratory of breeding and primary seed production of barley, 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/0000-0002-5143-9246,** e-mail: i.schennikova@mail.ru

Larisa P. Kokina, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of breeding and primary seed production of barley, 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

Irina Yu. Zaytseva, PhD in Biological Science, junior researcher, the Laboratory of breeding and primary seed production of barley, 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/0000-0002-1228-2151**

Liubov V. Panikhina, graduate student, junior researcher, the Laboratory of breeding and primary seed production of barley, 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/0000-0003-2227-7716**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.794–804
УДК 635.21:58.035.4:58.084.1

(cc) BY

Влияние предпосадочной обработки слабыми неионизирующими импульсными полями на продуктивность и качество урожая сортов картофеля

© 2024. В. Г. Зайнуллин[1], А. Н. Пожирицкая[1], А. М. Турлакова[1]✉, А. В. Партала[2], О. В. Овчинников[2], Е В. Бондарчук[2], И. Ф. Турканов[2], Е. А. Галкина[2], В. Г. Грязнов[2]

[1]*Институт агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация,*

[2]*Научный центр ОАО «Концерн «ГРАНИТ», г. Москва, Российская Федерация*

Полевые исследования проводили в 2021–2023 гг. в условиях Республики Коми. Предпосадочной обработке слабыми неионизирующими импульсными переменными электромагнитными полями (ЭМП) подвергали клубни 9 сортов картофеля. Электромагнитное воздействие осуществляли устройством «ТОР-био» в режиме 15/5 (15 минут воздействия, 5 минут перерыва, три раза в день перед посадкой) с частотой импульса 125 Гц. Оценивали эффективность как однократной обработки в 2023 г., так и последствий ежегодных обработок ЭМП клубней урожая 2022 г. и их потомств 2021 и 2022 гг. Обнаружено, что эффективность действия переменного электромагнитного поля зависела от сорта. У чувствительных к обработке ЭМП сортов картофеля наблюдали более раннее появление массовых всходов (Печорский, Люкс, Терра) и повышение урожайности на 26–75 % (Легенда, Люкс, Мишка, Арго). У сортов Мишка и Люкс рост урожайности можно объяснить достоверно значимым (p≤ 0,05) увеличением числа образующихся клубней в кусте после обработки ЭМП. В урожае сорта Печорский, полученного в 2023 г. от обработанных ЭМП клубней, отмечали повышенное содержание сухого вещества в осенне-весенний период хранения и крахмала – в осенний период. Анализ последствий многократной обработки клубней ЭМП выявил положительное влияние на интенсивность развития растений и качество урожая сорта Печорский местной селекции, что может свидетельствовать о возникновении устойчивых изменений его генотипа.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., *электромагнитное излучение, развитие, урожайность*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (рег. № НИОКТР 123033000036-5) и АО «КОНЦЕРН ГРАНИТ» в рамках договора № 23000183 от 06.03.2023.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Зайнуллин В. Г., Пожирицкая А. Н., Турлакова А. М., Партала А. В., Овчинников О. В., Бондарчук Е В., Турканов И. Ф., Галкина Е. А., Грязнов В. Г. Влияние предпосадочной обработки слабыми неионизирующими импульсными полями на продуктивность и качество урожая сортов картофеля. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):794–804. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.794-804

Поступила: 26.02.2024 Принята к публикации: 07.10.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

The effect of pre-planting treatment with weak non-ionizing pulse fields on the productivity and quality of potato cultivars

© 2024. Vladimir G. Zainullin[1], Aleksandra N. Pozhirickaya[1], Antonina M. Turlakova[1]✉, Alexander V. Partala[2], Oleg V. Ovchinnikov[2], Elena V. Bondarchuk[2], Igor F. Turkanov[2], Ekaterina A. Galkina[2], Valery G. Gryaznov[2]

[1]*A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation,*

[2]*Scientific Center of JSC Concern GRANIT, Moscow, Russian Federation*

Field research was conducted in 2021–2023 in the conditions of the Komi Republic. Tubers of 9 potato cultivars were subjected to pre-treatment with weak non-ionizing pulsed alternating electromagnetic fields (EMF). The electromagnetic effect was carried out by the TOR-bio device in the 15/5 mode (15 minutes of exposure, 5 minutes of break, three times a day before planting) with a pulse frequency of 125 Hz. The effectiveness of both a single treatment in 2023 and the consequences of annual EMF treatments of tubers of the 2022 harvest and their offspring of 2021 and 2022 were evaluated. It was found that the effectiveness of the action of an alternating electromagnetic field depended on the cultivar. In EMF-sensitive potato cultivars, an earlier appearance of mass seedlings ('Pechorsky', 'Lux', 'Terra') and an increase in yield by 26–75 % ('Legenda', 'Lux', 'Mishka', 'Argo') were observed. The increase in the yield of 'Mishka' and 'Lux' cultivars can be explained by a fairly significant (p≤ 0.05) increase in the number of tubers formed on the bush after EMF treatment. In the harvest of the 'Pechorsky' cultivar obtained in 2023 from EMF-treated tubers, an increased content of dry matter was noted in the autumn-spring storage period and starch in the autumn period. The analysis of the consequences of repeated EMF treatment of tubers revealed a

positive effect on the intensity of plant development and the quality of the harvest of the 'Pechorsky' cultivar of local breeding, which may indicate the occurrence of stable changes in its genotype.

Keywords: *Solanum tuberosum L., electromagnetic radiation, development, productivity*

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 of the Federal Research Centre «Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences» (reg. No. R&D 123033000036-5) and JSC Concern GRANIT under contract No. 23000183 dated 03/06/2023.

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

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

***For citation*:** Zainullin V. G., Pozhirickaya A. N., Turlakova A. M., Partala A. V., Ovchinnikov O. V., Bondarchuk E. V., Turkanov I. F., Galkina E. A., Gryaznov V. G. The effect of pre-planting treatment with weak non-ionizing pulse fields on the productivity and quality of potato cultivars. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):794–804. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.794-804

Received: 26.02.2024 Accepted for publication: 07.10.2024 Published online: 30.10.2024

Возможность более полно реализовать генетический потенциал сорта обеспечивают не только погодные условия, но и благоприятный агрофон сельхозугодий. Комплексное внесение органических и минеральных удобрений является залогом повышения плодородия почв, однако длительное их применение может негативно отразиться на агрофизических свойствах почв, что особенно важно для агроценозов северных территорий.

Многочисленными исследованиями показано влияние электромагнитных полей на прорастание семян, биохимические, гормональные изменения, рост растений и урожайность [1]. Установлено, что воздействие низкочастотного электромагнитного поля на семена растений в период их покоя приводит к существенным физиолого-биохимическим изменениям при их прорастании. Как низкочастотное, так и высокочастотное электромагнитное поле способно привести к эффекту биостимуляции семян. Биохимические исследования семян после воздействия на них электромагнитного поля в режимах, приводящих к выраженным биологическим эффектам, показали повышение активности α-амилазы, что свидетельствует об интенсификации процесса выхода гиббереллина, и активности гидролитического фермента кислой фосфатазы. Отклик семян на воздействие электромагнитного поля свидетельствует о принципиальной возможности электромагнитного управления ростовыми процессами [2].

Обработка семян пшеницы (*Triticum turgidum* L. ssp) магнитным полем с показателями 12,5 и 25,0 мТл в течение 6 дней с длительностью воздействия 15 и 30 мин в сутки выявила увеличение содержания воды, хлорофилла и каротиноидов в проростках, вегетирующих растениях пшеницы тучной. Установлена зависимость между экспрессией генов и соответствующими параметрами, особенно при магнитной индукции 25,0 мТл в течение 30 минут, причем изменения наблюдали во всех генах по сравнению с контрольной группой [3].

Ряд исследований по влиянию КВЧ-излучения на метаболизм фотосинтезирующих организмов выявил его стимулирующее действие на важные физиологические процессы [4, 5, 6]. В эксперименте немецких исследователей оценивали модельное растение *Arabidopsis thaliana*, которое подвергали воздействию комбинированной программы переменного электромагнитного поля (ЭМП) в течение 48 часов [7]. Были выявлены четкие различия в параметрах фотосинтеза между обработанными и контрольными растениями. Анализ транскриптома выявил изменения в количестве транскриптов при воздействии ЭМП. Количественная ПЦР в реальном времени подтвердила дерегулирование некоторых процессов метаболизма ДНК. Более глубокими были изменения в размерах пула метаболитов с изменениями в фотосинтетическом и центральном энергетическом метаболизме.

Показано, что эффекты от воздействия ЭМП КВЧ-диапазона на растения зависят от параметров ЭМП, экспозиции и могут быть как стимулирующими, так и угнетающими [8, 9, 10, 11].

Необходимо отметить, что КВЧ-излучение относится к сверхслабым воздействиям, но, тем не менее, обладает большим потенциалом. Хотя при облучении количество поглощаемой объектом энергии ничтожно мало, эффект воздействия на живые объекты оказывался весьма впечатляющим, например, стимуляция выхода биомассы у цианобактерий может достигать двух и более раз [6]. Влияние КВЧ-излучения на биологические объекты имеет, как правило, резонансный характер, то есть частотную, временную и мощностную зависимость.

В нашей работе дана оценка эффективности технологии дистанционной электромагнитной обработки сортов картофеля слабыми неионизирующими импульсными полями.

Цель исследований – изучить влияние технологии предпосадочной обработки клубней картофеля слабыми неионизирующими импульсными переменными электромагнитными полями на скорость всходов, число образующихся клубней в кусте, урожайность и качество клубней сортов картофеля в условиях Республики Коми.

Научная новизна – впервые выполнен анализ последствий обработки клубней картофеля переменными электромагнитными полями. Полученные результаты позволят оценить перспективность для сельскохозяйственной практики технологий импульсных электромагнитных полей для повышения урожайности сортов картофеля.

Материал и методы. Исследования проводили на экспериментальных участках Института агробиотехнологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в 2021–2023 гг.

По данным обследования 2023 года, почва экспериментального участка дерново-подзолистая, характеризуется следующими показателями: $pH_{сол}$ – 4,98[1], гидролитическая кислотность – 4,32 ммоль/100 г[2], органическое вещество – 1,11 %[3], обменный магний – 1,25 ммоль/100 г и обменный кальций – 8,25 ммоль/100 г[4], подвижный фосфор – 729,2 мг/кг и обменный калий – 53,9 мг/кг[5].

Аналитические работы на протяжении всего эксперимента (2021–2023 гг.) были выполнены лабораторией ФГБУ «Станция агрохимической службы «Сыктывкарская» и аналитической лабораторией Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Содержание сухого вещества[6], крахмала[7] и витамина С[8] определяли в клубнях картофеля урожая 2023 года, полученного в вариантах опыта с предпосадочной обработкой клубней ЭМП и без обработки (контроль). Анализ клубней сортов местной селекции провели в начале хранения (ноябрь 2023 г.) и марте 2024 года. Анализ усредненной пробы от трех клубней выполнили в двух повторностях.

Закладка делянок проведена согласно общепринятой методике[9]. Схема посадки 0,7х0,3 м, однорядковые делянки (не менее 25 клубней в рядке) в 4-кратной повторности. Площадь однорядковой делянки 5,25 м^2. Полевые наблюдения за сортами картофеля, статистическая обработка результатов исследований выполнена дисперсионным методом по Б. А. Доспехову[10] с использованием пакета AgCStat для программы EXCEL 2010.

Клубни картофеля перед посадкой подвергали электромагнитному воздействию аппаратом «ТОР-био» в режиме 15/5 (15 минут воздействия, 5 минут перерыв в течение 1 часа перед посадкой) с частотой импульса 125 Гц. Показатели периодического магнитного поля на расстоянии 10 см от излучателя аппарата «ТОР-био» не превышали значения 1,5 мкТл с точностью 0,22 мкТл, электрической компоненты излучения – не более значений 214 В/м с точностью 32 В/м, плотность мощности излучения на частоте 2,45 ГГц не превышала 36 мкВт/см^2 (ОАО «Концерн ГРАНИТ») [12, 13]. Выполнена оценка последствий предпосадочной обработки электромагнитными переменными полями клубней картофеля сортов – Печорский (1657-7) и Зырянец местной селекции среднеранних по группе спелости, а также селекции Уральского НИИСХ: ранние – Арго, Легенда,

[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 26212-2021. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 12 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data/757/75796.pdf?ysclid=lzgn2836zq457430136
[3]ГОСТ 26213-2021. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data/758/75803.pdf?ysclid=lzgnaqt4ob686092293
[4]ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. С. 32–39. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/69b/4294828010.pdf?ysclid=lzgngx1tsu253983835
[5]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
[6]ГОСТ 31640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. М. Стандартинформ, 2012. 11 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293787/4293787414.pdf?ysclid=lzigj74b6s927537936
[7]ГОСТ 26176-91. Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов. М.: Межгосударственный стандарт. 9 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294828/4294828299.pdf
[8]ГОСТ 24556-89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003 (переиздание). 11 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294829/4294829760.pdf?ysclid=lzigyqm4a3144766926
[9]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
[10]Там же.

Люкс, Мишка, Терра, среднеранние – Аляска и Шах. Сорта Крепыш (ранний по группе спелости) и Зырянец служили стандартом, так как рекомендованы к использованию по I (Северному) региону. Электромагнитному воздействию подвергали клубни урожая 2022 г. и потомство клубней, обработанных ЭМП в 2021 и 2022 гг.

Оценка метеорологических условий 2021 и 2022 гг. выполнена на основании данных, предоставленных Центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды г. Сыктывкара, 2023 г. – по данным сайта http://www.pogodaiklimat.ru/ (рис. 1).

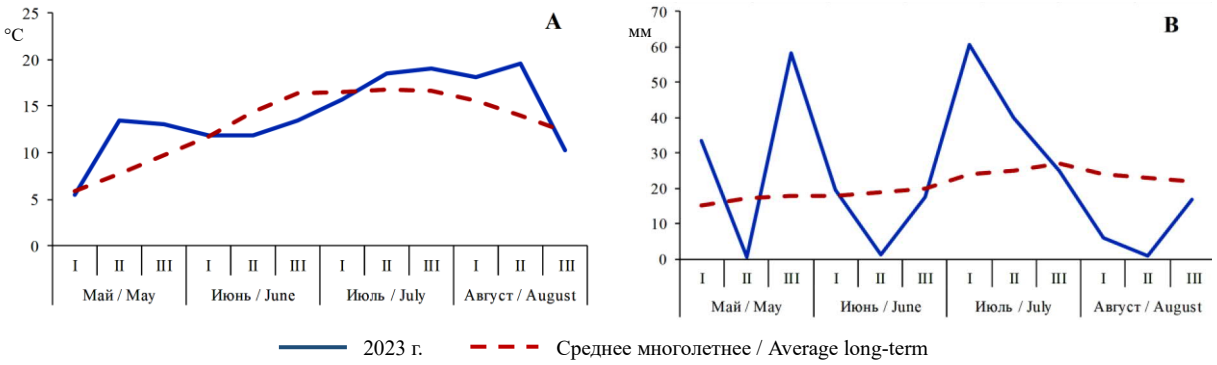


Рис. 1. **Динамика среднесуточной температуры воздуха (А) и количества осадков (В) в вегетационный период 2023 г. /**

Fig. 1. **Dynamics of the average daily air temperature (A) and precipitation (B) in the growing season of 2023**

Метеоусловия вегетационного периода 2021 г. заметно отличались от многолетних наблюдений как по температуре воздуха, так и атмосферным осадкам. Среднесуточная температура воздуха в целом за вегетационный период была на 2,7 °С выше, при этом резких перепадов не наблюдали.

За вегетационный период 2022 года (май–август) средняя температура воздуха составила 16,1 °С (норма 13,1 °С), осадков выпало 244,0 мм при средней многолетней норме 252,0 мм.

Благоприятный температурный и влажностный режим мая 2023 г. обеспечил достаточно раннюю посадку картофеля (25.05.2023) в сравнении с 2022 г. (07.06.2022). За июнь 2023 г. средняя температура воздуха составила 12,36 °С, что на 1,84 °С ниже средней многолетней нормы, количество осадков выпало ниже средней многолетней на 38,2 мм, что отрицательно отразилось на ранней стадии развития картофеля – период появления входов растянулся. Июль характеризовался относительно равномерным температурным режимом в течение месяца. Средняя температура воздуха за июль составила 19,1 °С, что на 2,47 °С выше средней многолетней нормы, в августе средняя температура (15,99 °С) превысила среднемноголетнее значение на 0,68 °С за данный период, а количество осадков выпало на 45,5 мм меньше среднего многолетнего показателя. Прохладный июнь и недостаток влаги в первую половину лета, превышение температуры и дефицит влаги в августе отрицательно сказались на качественных показателях урожая картофеля.

Результаты и их обсуждение. Динамика всходов картофеля после обработки клубней импульсными электромагнитными полями в 2023 г. (Э), в 2021, 2022, 2023 гг. (ТЭ) и контрольных (К) – необработанных показана на рисунке 2. Как видно из рисунка 2, более интенсивную динамику всходов (свыше 60 % через три недели от посадки) наблюдали у сорта Печорский при обработке клубней ЭМП в 2023 г. (Э) в сравнении с вариантами без обработки (К) и после обработки ЭМП в 2021, 2022 и 2023 г. (ТЭ), а также с характером всходов сорта Зырянец по вариантам опыта (менее 20 % всходов на третьей неделе от посадки). Среди сортов уральской селекции под воздействием обработки ЭМП (2023 г.) резко увеличили интенсивность всходов клубни картофеля сорта Люкс, отмечена положительная динамика у сортов Аляска и Терра, которые имели более продолжительный довсходовый период.

Реакция сортов картофеля оригинальной селекции № 1657-7 (Печорский) и Зырянец на обработку клубней ЭМП (табл. 1) была аналогичной результатам, полученным ранее в 2021 и 2022 годах [14] – для сортообразца Печорский эффективность однократной обработки, опре-

деляемой по среднему весу клубней на куст, была выше, чем в контроле ($p \leq 0,05$). Выявлена тенденция увеличения количества клубней на куст. В отличие от сортообразца Печорский, результаты учета раннего урожая сорта Зырянец свидетельствуют о значимом увеличении числа клубней и несущественном – среднего веса клубней на куст у обработанного ЭМП варианта.

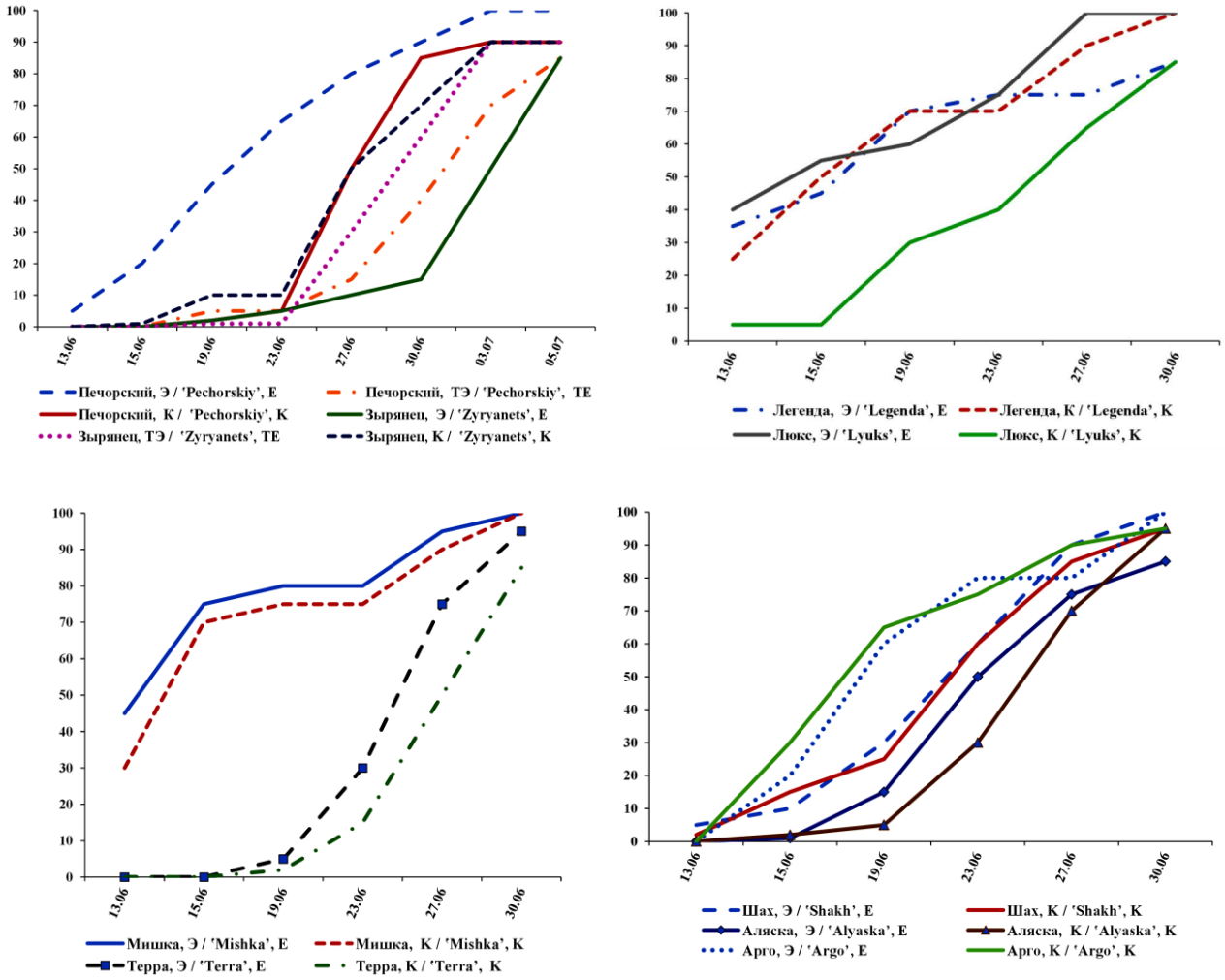


Рис. 2. **Динамика всходов сортов картофеля после обработки ЭМП, %: Э – обработка 2023 г., ТЭ – обработка 2021, 2022, 2023 гг., К – контроль /**

Fig. 2. **Dynamics of seedlings of potato cultivars after EMF treatment (%).: E – treatment in 2023, TE – treatment in 2021, 2022, 2023, K – control**

Анализ реакции сортов селекции Уральского НИИСХ на обработку ЭМП выявил, что сорта Мишка и Люкс положительно отреагировали на обработку ЭМП, значительно увеличив вес клубней на куст (на 0,05–0,10 кг соответственно при $НСР_{05} = 0,05$ кг). Тенденцию к повышению числа клубней на куст наблюдали у ранних сортов Мишка, Люкс, Терра и Арго. Для среднеранних сортов Аляска и Шах такой зависимости не выявлено, более того, как видно из таблицы 1, результаты свидетельствуют о снижении показателей в варианте с обработкой клубней ЭМП.

Учет общей урожайности сортов местной селекции показал, что обработка ЭМП незначительно повысила урожайность у сорта Печорский 18,6 т/га против 17,6 т/га в контроле и способствовала снижению общей урожайности сорта Зырянец – 11,4 против 12,1 т/га соответственно (рис. 3). Воздействие в 2023 году ЭМП на клубни сортообразца Печорский – потомства клубней, обработанных ЭМП в 2021 и 2022 гг., привело к достоверно значимому снижению общей урожайности – 9,5 т/га против 17,6 т/га в контроле ($НСР_{05} = 2,2$), у сорта Зырянец, наоборот, наблюдали тенденцию к увеличению общей урожайности – 15,9, в контроле – 12,1 т/га ($НСР_{05} = 2,8$).

Таблица 1 – **Влияние предпосадочной обработки ЭМП на формирование раннего урожая сортов картофеля (65-й день после посадки) (2023 г.) /**
Table 1 – **The effect of pre-planting EMF treatment on the formation of an early crop of potato cultivars (65th day after planting) (2023)**

Сорт / Cultivar	*Количество основных стеблей, шт / Number of main stems, pcs.*	*Высота растений, см / Plant height cm*	*Вес ботвы, кг/куст / Weight of the tops, kg/bush*	*Кол-во клубней, шт/куст / Number of tubers, pcs/bush*	*Вес клубней, кг/куст / Weight of tubers, kg/bush*
Печорский, К / 'Pechorskiy', K	3,5±0,6	48,5±2,0	0,20±0,03	7,5±1,8	0,15±0,04
Печорский, Э / 'Pechorskiy', E	3,5±0,6	52,5±3,8	0,30±0,04	10,5±2,5	0,34±0,05
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	3,4	16,6	0,23	9,9	0,25
Зырянец, К / 'Zyryanets', K	2,5±0,5	48,8±6,6	0,21±0,08	4,5±1,2	0,16±0,06
Зырянец, Э / 'Zyryanets', K	3,5±0,9	50,0±2,0	0,20±0,02	10,8±1,9	0,18±0,02
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	3,4	20,1	0,28	9,9	0,23
Легенда, К / 'Legenda', K	3,0±0,7	51,7±4,0	0,13±0,02	9,8±1,6	0,27±0,05
Легенда, Э / 'Legenda', E	2,0±0,4	52,5±3,2	0,19±0,03	8,5±0,5	0,34±0,06
$НСР_{05}$/ LSD_{05}	2,6	18,8	0,15	5,1	0,31
Люкс, К / 'Lyuks', K	2,8±0,5	52,5±4,3	0,10±0,04	6,0±2,3	0,09±0,04
Люкс, Э / 'Lyuks', E	3,7±0,9	49,3±1,9	0,10±0,03	9,3±1,2	0,19±0,06*
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	3,9	11,0	0,10	6,2	0,04
Мишка, К / 'Mishka', K	2,8±0,5	50,1±2,2	0,21±0,03	9,5±1,5	0,20±0,04
Мишка, Э / 'Mishka', E	3,8±0,3	56,3±3,8	0,25±0,04	12,5±0,3	0,25±0,04*
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	1,3	12,1	0,16	4,7	0,05
Терра, К / 'Terra', K	2,0±0,6	42,5±3,2	0,18±0,04	6,8±2,4	0,30±0,05
Терра, Э / 'Terra', E	2,0±0,4	45,0±0,4	0,17±0,02	8,8±2,1	0,28±0,04
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	1,3	10,3	0,11	10,3	0,12
Арго, К / 'Argo', K	2,0±0,6	51,8±2,7	0,26±0,03	7,3±0,6	0,31±0,03
Арго, Э / 'Argo', E	2,0±0,7	46,3±2,4	0,16±0,02	11,3±2,0	0,35±0,05
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	3,9	6,7	0,15	7,3	0,23
Крепыш, К / 'Krepish', K	2,8±0,9	58,8±5,7	0,15±0,01	7,3±1,2	0,25±0,03
Крепыш, Э / 'Krepish' E	2,0±0,5	52,5±5,2	0,1±0,05	7,6±1,0	0,21±0,04
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	3,9	7,6	0,1	10,5	0,17
Шах, К / 'Shakh', K	3,3±0,3	58,9±1,3	0,16±0,02	11±2,2	0,21±0,02
Шах Э / 'Shakh', E	2,5±0,3	52,5±1,3	0,18±0,01	5,8±0,9	0,20±0,02
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	1,5	7,6	0,01	8,5	0,09
Аляска К / 'Alyaska', K	3,0±0,7	52,5±3,2	0,18±0,03	11,8±3,1	0,27±0,07
Аляска, Э / 'Alyaska', E	1,0±0,0	56,3±2,4	0,20±0,04	7,3±1,1	0,20±0,04
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	2,3	13,6	0,17	12,6	0,36

Примечания: К – контроль без обработки; Э – обработка ЭМП: * варианты, значимо отличающиеся от контроля при $p \leq 0,05$ /

Notes: K – control without treatment; E – EMF treatment: * variants significantly different from the control at $p < 0.05$

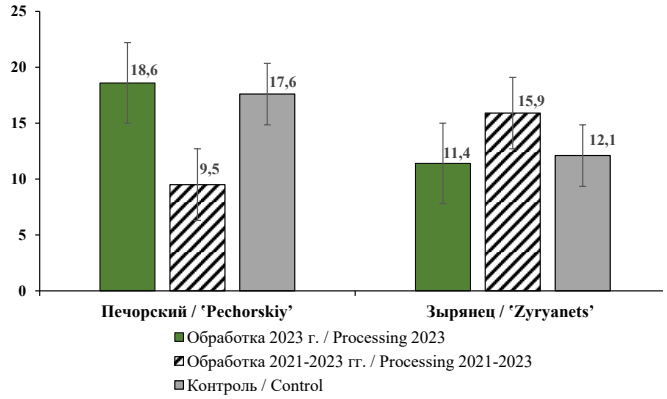


Рис. 3. **Влияние предпосадочной обработки ЭМП на общую урожайность сортов картофеля местной селекции, т/га /**

Fig. 3. **The effect of pre-planting EMF treatment on the overall yield of locally bred potato cultivars, t/ha**

Известно, что факторы окружающей среды могут вызывать изменения в метилировании ДНК, ацетилировании или метилировании гистонов, т. е. приводить к эпигенетическим изменениям, которые отражают адаптацию к новым условиям. Были показаны изменения в метилировании ДНК после воздействия на пшеницу (*Triticum aestivum* L.) нетепловым воздействием чрезвычайно высокой частоты (45–53 ГГц) в течение 40 минут [15]. Крупномасштабный анализ протеоформ, дифференциально экспрессирующихся после воздействия ЭМП, наблюдали у подсолнечника обыкновенного (*Helianthus annuus* L.) [16]. Было подтверждено, что кратковременное (5–15 минут) воздействие на растения подсолнечника ЭМП частотой 5,28 МГц является эффективным сигналом окружающей среды, который изменяет содержание почти 100 белков (большинство из них связано с фотосинтезом), лежащих в основе изменений экспрессии генов. Таким образом, можно предположить, что в результате многократного воздействия ЭМП на семена (клубни) картофеля сорта Печорский и, в меньшей степени, сорта Зырянец, могли возникнуть устойчивые изменения генотипа, реализуемые в отличиях реакций на дополнительные действия факторов среды у нативных и обработанных образцов.

Существенно увеличили общую урожайность при обработке ЭМП сорта Арго (на 9,4 т/га, $НСР_{05}$ = 5,7 т/га) и Мишка (на 2,7 т/га, $НСР_{05}$ = 2,6 т/га), положительная тенденция отмечена у сорта Люкс (на 4,2 т/га, $НСР_{05}$ = 5,18 т/га) (рис. 4). Обработка ЭМП привела к статистически значимому снижению общей урожайности среднераннего сорта Шах (на 1,3 т/га, $НСР_{05}$ = 0,13 т/га) и среднеспелого Аляска (на 3,3 т/га, $НСР_{05}$ = 2,13 т/га).

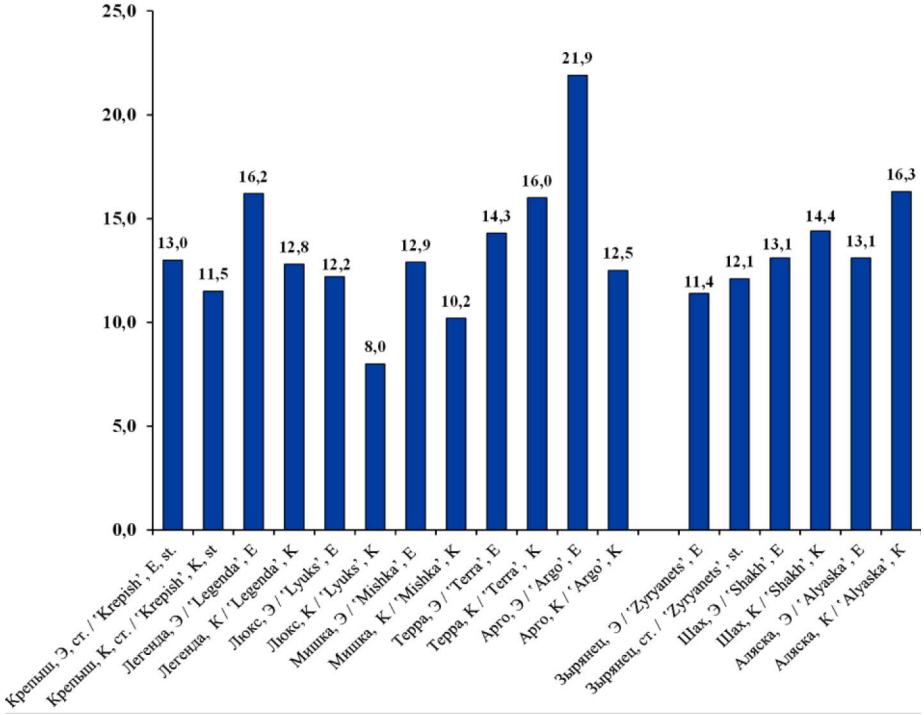


Рис. 4. **Влияние предпосадочной обработки ЭМП на общую урожайность сортов картофеля селекции Уральского НИИСХ (2023 г.), т/га /**

Fig. 4. **The effect of pre-planting EMF treatment on the total yield of potato cultivars bred by the Ural Research Institute (2023), t/ha**

В таблице 2 представлены данные оценки содержания сухого вещества, крахмала и витамина С в клубнях картофеля урожая 2023 года, полученного от обработанных клубней и контрольных вариантов. Как видно из результатов, за период хранения картофеля происходит увеличение содержания сухого вещества, крахмала и снижается количество витамина С. Следует отметить, что обработка ЭМП привела к снижению содержания сухого вещества, крахмала и витамина С в клубнях картофеля сорта Зырянец в период осенне-весеннего хранения. У сорта Печорский в варианте с предпосевной обработкой ЭМП наблюдали повышенное содержание сухого вещества в осенне-весенний период хранения и крахмала – в осенний период.

Таблица 2 – **Влияние однократной обработки ЭМП на показатели качества клубней картофеля сортов местной селекции /**
Table 2 – **The effect of a single EMF treatment on the quality indicators of potato tubers of locally bred cultivars**

Сорт / Cultivar	*Сухое вещество, % / Dry matter, %*		*Крахмал, % / Starch, %*		*Витамин С, мг% / Vitamin C, mg%*	
	осень 2023 г. / autumn 2023	*весна 2024 г. / spring 2024*	*осень 2023 г. / autumn 2023*	*весна 2024 г. / spring 2024*	*осень 2023 г. / autumn 2023*	*весна 2024 г. / spring 2024*
Зырянец, К / ‘Zyryanets’, K	25,5	29,0	18,2	20,3	17,6	10,7
Зырянец, Э / ‘Zyryanets’, E	19,2	22,2	10,5	16,2	15,5	11,8
Печорский, К / ’Pechorskiy’, K	22,6	23,3	13,8	15,1	18,6	10,2
Печорский, Э / ‘Pechorskiy’, E	24,5	26,4	16,3	13,2	17,6	9,3

Выводы. Проведенные исследования по изучению влияния предпосадочной обработки слабыми неионизирующими импульсными полями на показатели продуктивности и качества сортов картофеля в почвенно-климатических условиях Республики Коми показали:

1. При однократной обработке ЭМП отмечена более интенсивная динамика всходов картофеля сортов Печорский и Люкс (свыше 60 % через три недели от посадки) и относительно слабая положительная динамика у Аляска и Терра.

2. На 65-й день после посадки под влиянием обработки клубней картофеля переменными электромагнитными полями отмечена тенденция увеличения количества клубней на куст у всех испытываемых сортов – на 2,0 шт. (Терра), 3,0 (Мишка и Печорский), 3,3 (Люкс), 4 (Арго), 6,3 шт. (Зырянец). У сортов Легенда, Аляска, Шах отмечено незначительное снижение числа клубней на куст – на 1,3; 4,5 и 5,2 шт. соответственно.

3. Положительно отреагировали на обработку ЭМП сорта Мишка и Люкс, существенно увеличив вес клубней соответственно на 0,05 и 0,10 кг/куст.

4. По показателям общей урожайности эффективнее реагировали на обработку слабыми неионизирующими импульсными переменными электромагнитными полями сорта Мишка и Арго (статистически значимое повышение на 2,7 и 9,4 т/га соответственно). Обработка ЭМП привела к достоверному снижению урожайности среднераннего сорта Шах и среднеспелого сорта Аляска на 1,3 и 3,3 т/га соответственно.

5. Предварительные данные по влиянию предпосевной обработки ЭМП на качество урожая показали, что клубни картофеля сорта Печорский содержали повышенное количество сухого вещества (24,5–26,4 %) в осенне-весенний период хранения, крахмала (16,3 %) в осенний период по сравнению с контролем (22,6–23,3 % и 13,8 % соответственно).

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования предпосадочной обработки клубней картофеля ЭМП с учетом сортовой специфики.

Список литературы

1. Radhakrishnan R. Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances Tolerance against environmental stresses. Physiology and Molecular Biology of Plants. 2019;25(5):1107–1119. DOI: https://doi.org/10.1007/s12298-019-00699-9

2. Калинин Л. Г., Бошкова И. Л., Панченко Г. И., Коломийчук С. Г. Влияние низкочастотного и высокочастотного электромагнитного поля на семена. Биофизика. 2005;50(2):361–366.

3. Erez M. E., Özbek M. Magnetic field effects on the physiologic and molecular pathway of wheat (*Triticum turgidum* L.) germination and seedling growth. Acta Physiologiae Plantarum. 2024;46(5). DOI: https://doi.org/10.1007/s11738-023-03631-7

4. Ли Ю. В., Терехова Л. П., Алферова И. В., Галатенко О. А., Гапочка М. Г. Применение сукцессионного анализа в комбинации с КВЧ-излучением для селективного выделения актиномицетов из почвы. Микробиология. 2003;72(1):131–135.

5. Тамбиев А. Х., Кирикова Н. Н. Некоторые новые представления о причинах формирования стимулирующих эффектов КВЧ-излучения. Биомедицинская радиоэлектроника. 2000;(1):23–33.

6. Тамбиев А. Х., Кирикова Н. Н., Бецкий О. В., Гуляев Ю. В. Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы. М.: Радиотехника, 2003. 472 с.

7. Schmidtpott S. M., Danho S., Kumar V., Seidel T., Schöllhorn W., Dietz K.-J. Scrutinizing the Impact of Alternating Electromagnetic Fields on Molecular Features of the Model Plant Arabidopsis thaliana. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022;19(9):5144. DOI: https://doi.org/10.3390/IJERPH19095144

8. Мазец Ж. Э., Кайзинович К. Я., Пушкина Н. В., Родионова В. Н., Спиридович Е. В. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения на активность амилазы в проростках *Lupinus angustifolius* L. Труды Белорусского государственного университета. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. 2013;8(2):95–101. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=44388018 EDN: UEIDBX

9. Мазец Ж. Э., Кайзинович К. Я., Шутова А. Г. К вопросу о механизмах взаимодействия низкоинтенсивного электромагнитного излучения с растительными объектами. Весці БДПУ Серыя 3. Фізіка, матэматыка, інфарматыка, біялогія, геаграфія». 2014;(1):26–31. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=38207219 EDN: ZSWQLJ

10. Калье М. И. Влияние КВЧ – излучения миллиметрового диапазона на физиологические процессы прорастания семян пивоваренного ячменя. Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2010;(2-2):399–401. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=15529278 EDN: NBVNBF

11. Radhakrishnan R. See pretreatment with magnetic field alters the storage proteins and lipid profiles in harvested soybean seeds. Physiology and Molecular Biology of Plants. 2018;24(2):343–347. DOI: https://doi.org/10.1007/s12298-018-0505-8

12. Устройство для подавления жизнедеятельности патогенных микроорганизмов и вирусов электромагнитным излучением: патент №2765973 Российская Федерация. № 2020124927: заявл. 27.07.2020; опубл. 07.02.2022. Бюл. № 4. 7 с. Режим доступа: https://patentimages.storage.googleapis.com/47/71/dd/8682b68ce2ece0/RU2765973C1.pdf

13. Способ подавления жизнедеятельности патогенных микроорганизмов и вирусов электромагнитным излучением: патент №2766002 Российская Федерация. № 2020124570; заявл. 23.07.2020; опубл. 07.02.2022. Бюл. № 4. 6 с. Режим доступа: https://patents.s3.yandex.net/RU2766002C1_20220207.pdf

14. Бондарчук Е. В., Овчинников О. В., Турканов И. Ф., Партала А. В., Шульгина Е. А., Селиверстов А. Ф., Казыберова А. Ю., Зайнуллин В. Г., Юдин А. А. Слабые импульсные электромагнитные поля повышают урожайность и иммунитет картофеля. Картофель и овощи. 2023;(4):35–40. DOI: https://doi.org/10.25630/PAV.2023.91.50.004 EDN: LUTKWA

15. Aydin M., Taspinar M.S., Cakmak Z. E., Dumlupinar R., Agar G. Static magnetic field induced epigenetic changes in wheat callus. Bioelectromagnetics. 2016;37(7):504–511. DOI: https://doi.org/10.1002/bem.21997

16. Mildažienė V., Aleknavičiūtė V., Žūkienė R., Paužaitė G., Naučienė Z., Filatova I., et al. Treatment of common sunflower (Helianthus annuus L) seeds with radio-frequency electromagnetic field and cold plasma induces changes in seed phytohormone balance, seedling development and leaf protein expression. Scientific Reports. 2019;9(1):6437. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-42893-5

References

1. Radhakrishnan R. Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances Tolerance against environmental stresses. Physiology and Molecular Biology of Plants. 2019;25(5):1107–1119. DOI: https://doi.org/10.1007/s12298-019-00699-9

2. Kalinin L. G., Boshkova I. L., Panchenko G. I., Kolomiychuk S. G. Influence of low-frequency and microwave electromagnetic fields on seeds. *Biofizika* = Biophysics. 2005;50(2):361–366. (In Russ.).

3. Erez M. E., Özbek M. Magnetic field effects on the physiologic and molecular pathway of wheat (*Triticum turgidum* L.) germination and seedling growth. Acta Physiologiae Plantarum. 2024;46(5). DOI: https://doi.org/10.1007/s11738-023-03631-7

4. Li Yu. V., Terekhova L. P., Alferova I. V., Galatenko O. A., Gapochka M. G. The application of succession analysis in combination with ehf irradiation to the selective isolation of actinomycetes from soil. *Mikrobiologiya*. 2003;72(1):131–135. (In Russ.).

5. Tambiev A. Kh., Kirikova N. N. Some new ideas about the reasons for the formation of stimulating effects of EHF radiation. *Biomeditsinskaya radioelektronika* = Journal Biomedical Radioelectronics. 2000;(1):23–33. (In Russ.).

6. Tambiev A. Kh., Kirikova N. N., Betskiy O. V., Gulyaev Yu. V. Millimeter waves and photosynthetic organisms. Moscow: *Radiotekhnika*, 2003. 472 p.

7. Schmidtpott S. M., Danho S., Kumar V., Seidel T., Schöllhorn W., Dietz K.-J. Scrutinizing the Impact of Alternating Electromagnetic Fields on Molecular Features of the Model Plant Arabidopsis thaliana. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022;19(9):5144. DOI: https://doi.org/10.3390/IJERPH19095144

8. Mazets Zh. E., Kayzinovich K. Ya., Pushkina N. V., Rodionova V. N., Spiridovich E. V. Effect of low-intensity electromagnetic radiation on amylase activity in seedlings of *Lupinus angustifolius* L. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fiziologicheskie, biokhimicheskie i molekulyarnye osnovy funktsionirovaniya biosistem* = Proceedings of the Belarusian State University. Series of Physiological, Biochemical and Molecular Biology Sciences. 2013;8(2):95–101. (In Belarus). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=44388018

9. Mazets Zh. E., Kayzinovich K. Ya., Shutova A. G. On the issue of the mechanisms of interaction of low-intensity electromagnetic radiation with plant objects. *Vestsi BDPU Seryya 3. Fizika, matematyka, infarmatyka, biyalogiya, geagrafiya»*. 2014;(1):26–31. (In Belarus). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=38207219

10. Kale M. I. Effect of EHF radiation on physiological processes of brewer's barley seed germination. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo* = Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod. 2010;(2-2):399–401. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=15529278

11. Radhakrishnan R. See pretreatment with magnetic field alters the storage proteins and lipid profiles in harvested soybean seeds. Physiology and Molecular Biology of Plants. 2018;24(2):343–347. DOI: https://doi.org/10.1007/s12298-018-0505-8

12. Device for suppressing the vital activity of pathogenic microorganisms and viruses by electromagnetic radiation: patent RF no. 2765973. 2022. URL: https://patentimages.storage.googleapis.com/47/71/dd/8682b68ce2ece0/RU2765973C1.pdf

13. A method of suppressing the vital activity of pathogenic microorganisms and viruses by electromagnetic radiation: patent RF no. 2020124927. 2022. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2766002C1_20220207.pdf

14. Bondarchuk E. V., Ovchinnikov O. V., Turkanov I. F., Partala A. V., Shulgina E. A., Seliverstov A. F., Kazyberova A. Yu., Zaynullin V. G., Yudin A. A. Weak pulsed electromagnetic fields enhance potato yield and immunity. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2023;(4):35–40. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25630/PAV.2023.91.50.004

15. Aydin M., Taspinar M.S., Cakmak Z. E., Dumlupinar R., Agar G. Static magnetic field induced epigenetic changes in wheat callus. Bioelectromagnetics. 2016;37(7):504–511. DOI: https://doi.org/10.1002/bem.21997

16. Mildažienė V., Aleknavičiūtė V., Žūkienė R., Paužaitė G., Naučienė Z., Filatova I., et al. Treatment of common sunflower (Helianthus annuus L) seeds with radio-frequency electromagnetic field and cold plasma induces changes in seed phytohormone balance, seedling development and leaf protein expression. Scientific Reports. 2019;9(1):6437. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-42893-5

Сведения об авторах

Зайнуллин Владимир Габдуллович, доктор биол. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167023, e-mail: nipti@bk.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9378-1170

Пожирицкая Александра Николаевна, младший научный сотрудник, Институт агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167023, e-mail: nipti@bk.ru,
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-8869-4963

✉ **Турлакова Антонина Марсовна,** младший научный сотрудник, Институт агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167023, e-mail: nipti@bk.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8038-6534, e-mail: turlakova100krapt@mail.ru

Партала Александр Владимирович, специалист научного отдела, главный научный сотрудник, Научный центр ОАО «Концерн «ГРАНИТ», б-р Гоголевский, д. 31, стр. 2, г. Москва, Российская Федерация, 119019, e-mail: info@granit-concern.ru

Овчинников Олег Вячеславович, сотрудник научного отдела, председатель совета директоров, Научный центр ОАО «Концерн «ГРАНИТ», б-р Гоголевский, д. 31, стр. 2, г. Москва, Российская Федерация, 119019, e-mail: info@granit-concern.ru

Бондарчук Елена Владимировна, вице-президент, Научный центр ОАО «Концерн «ГРАНИТ», б-р Гоголевский, д. 31, стр. 2, г. Москва, Российская Федерация, 119019, e-mail: info@granit-concern.ru

Турканов Игорь Федорович, руководитель, Научный центр ОАО «Концерн «ГРАНИТ», б-р Гоголевский, д. 31, стр. 2, г. Москва, Российская Федерация, 119019, e-mail: info@granit-concern.ru

Галкина Екатерина Анатольевна, специалист, Научный центр ОАО «Концерн «ГРАНИТ», б-р Гоголевский, д. 31, стр. 2, г. Москва, Российская Федерация, 119019, e-mail: info@granit-concern.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3824-2577

Грязнов Валерий Георгиевич, кандидат тех. наук, зам. руководителя, Научный центр ОАО «Концерн «ГРАНИТ», б-р Гоголевский, д. 31, стр. 2, г. Москва, Российская Федерация, 119019, e-mail: info@granit-concern.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5751-6815

Information about the authors

Vladimir G. Zainullin, DSc in Biological Science, professor, leading researcher, A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Rucheynaya, 27, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167023, e-mail: nipti@bk.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9378-1170

Aleksandra N. Pozhirickaya, junior researcher, A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Rucheynaya, 27, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167023, e-mail: nipti@bk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0004-8869-4963**

✉ **Antonina M. Turlakova,** junior researcher, A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Rucheynaya, 27, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167023, e-mail: nipti@bk.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8038-6534, e-mail: turlakova100krapt@mail.ru

Alexander V. Partala, Specialist of the Scientific Department, Scientific Center of JSC Concern GRANIT, Gogolevsky b-r, 31, building 2, Moscow, Russian Federation, 119019, e-mail: info@granit-concern.ru

Oleg V. Ovchinnikov, Member of the Scientific Department, Chairman of the Board of Directors, Scientific Center of JSC Concern GRANIT, Gogolevsky b.31, building 2, Moscow, Russian Federation, 119019,
e-mail: info@granit-concern.ru

Elena V. Bondarchuk, Vice-President, Scientific Center of JSC Concern GRANIT, Gogolevsky Street, 31, building 2, Moscow, Russian Federation, 119019, e-mail: info@granit-concern.ru

Igor F. Turkanov, Head, Scientific Center of JSC Concern GRANIT, Gogolevsky b., 31, building 2, Moscow, Russian Federation, 119019, e-mail: info@granit-concern.ru

Ekaterina A. Galkina, Specialist, Scientific Center of JSC Concern GRANIT, Gogolevsky b-r, 31, building 2, Moscow, Russian Federation, 119019, e-mail: info@granit-concern.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3824-2577**

Valery G. Gryaznov, PhD in Engineering, Deputy Head, Scientific Center of JSC Concern GRANIT, Gogolevsky b., 31, building 2, Moscow, Russian Federation, 119019, e-mail: info@granit-concern.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5751-6815

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.805–817
УДК 633.521:631.52

(cc) BY

Влияние гербицида Магнум на продуктивность и качество современных сортов льна-долгунца

© 2024. Т. А. Рожмина✉, И. А. Андреева
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Российская Федерация

Цель исследований – оценка реакции 20 современных сортов льна-долгунца разных групп спелости отечественной и зарубежной селекции на обработку гербицидом Магнум, ВДГ (метсульфурон-метил, 60 г/кг) и выявление стрессоустойчивых форм для использования в селекционных программах. Полевые исследования (луночный питомник) проводили в 2021–2023 гг. в условиях Тверской области. Посевы льна обрабатывали гербицидом в рекомендованной норме расхода – 0,01 кг/га в фазу «елочка». При испытании было выявлено снижение показателей продуктивности и качества льноволокна на селективном фоне по сравнению с контролем без обработки, которое у наиболее чувствительного сорта Левит 1 (Республика Беларусь) составило: высота растений – 22,9 %, вес технической части стебля – 41,6 %, масса волокна – 47,1 %, техническая длина – 28 % и «мыклость» стебля – 23,1 %. Снижение продуктивности семян под действием гербицида Магнум выявлено только у ранне- и среднеспелых сортов. Так, у раннеспелого сорта Томич 2 (Россия) в варианте с обработкой гербицидом число коробочек и семян с 1 растения по сравнению с контролем было ниже на 54,9 и 57,7 % соответственно. Высокую устойчивость к гербицидному стрессу (свыше 90 %) по параметрам продуктивности проявили позднеспелые сорта С-108, Союз и Крепыш (Россия). По признакам качества льноволокна уровень гербицидоустойчивости среднеспелого сорта Сурский (Россия) соответствовал стандарту – сорту Атлант (Россия). Среднеспелый сорт Грант (Республика Беларусь) сочетал устойчивость к гербицидному стрессу как по продуктивности льноволокна, так и его качеству. Выделившиеся стрессоустойчивые сорта на селективном фоне превышали среднесортовые значения по анализируемым признакам, что свидетельствует об их адаптивности к условиям выращивания.

Ключевые слова: *Linum usitatissimum* L., *стрессоустойчивость, адаптивность, генотип, качество льноволокна*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2024-0005).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рожмина Т. А., Андреева И. А. Влияние гербицида Магнум на продуктивность и качество современных сортов льна-долгунца. 2024;25(5):805–817. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.805-817

Поступила: 28.07.2024 Принята к публикации: 26.09.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Effect of Magnum herbicide on productivity and quality of modern fiber flax cultivars

© 2024. Tatiana A. Rozhmina✉ , Irina A. Andreeva
Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The aim of the research was to evaluate the response of 20 modern cultivars of fiber flax of different maturity groups of domestic and foreign breeding to treatment with the herbicide Magnum, VDG (metsulfuron-methyl, 60 g/kg) and to identify stress-resistant forms for use in breeding programs. Field studies (hole nursery) were carried out in 2021-2023 in the Tver region. Flax crops were treated with herbicide at the recommended consumption rate of 0.01 kg / ha in the "herringbone" phase. The test revealed a decrease in the productivity and quality of flax fiber against a selective background compared to the control without treatment, which in the most sensitive variety 'Levit 1' (Republic of Belarus) was as follows: plant height – 22.9 %, weight of the technical part of the stem – 41.6 %, fiber weight – 47.1 %, technical length – 28 % and rippleness of the stem – 23.1 %. A decrease in seed productivity under the influence of the herbicide Magnum was found only in early and mid-ripening cultivars. Thus, in the early-ripening cultivar 'Tomich 2' (Russia) in the variant with herbicide treatment, the number of bolls and seeds per 1 plant compared to the control was lower by 54.9 and 57.7 %, respectively. Late-ripening cultivars 'S-108', 'Soyuz' and 'Krepysh' (Russia) showed high resistance to herbicide stress (over 90 %) by the productivity parameters. According to flax fiber quality, the level of herbicide resistance of the mid-ripening cultivar 'Surskiy' (Russia) corresponded to the standard – the 'Atlant' (Russia). The mid-ripening cultivar 'Grant' (Republic of Belarus) combined resistance to herbicide stress both in terms of flax fiber productivity and its quality. The stress-resistant cultivars that stood out against the selective background exceeded the average varietal values for the analyzed characteristics, which indicates their adaptability to growing conditions.

Key words: *Linum usitatissimum* L., *stress resistance, adaptability, genotype, flax fiber quality*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops (theme No. FGSS-2024-0005).

The authors thank the reviewers for their comments to improve the manuscript for the publication.

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

For citations: Rozhmina T. A., Andreeva I. A. Effect of Magnum herbicide on productivity and quality of modern fiber flax cultivars. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):805–817. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.805-817

Received: 28.07.2024 Accepted for publication: 26.09.2024 Published online: 30.10.2024

Лен-долгунец является основным источником натурального волокнистого сырья в условиях Российской Федерации. Полученное при его переработке длинное волокно используется для производства текстильных изделий, а короткое волокно исторически рассматривалось как отход и применялось для изготовления более дешевой продукции [1]. В настоящее время льняные волокна являются важной частью новых композиционных материалов, используемых в автомобильной и строительной промышленности. Биокомпозиты из льняного волокна рассматриваются как экологически чистая и биоразлагаемая альтернатива обычным пластикам [2, 3]. В настоящее время разработаны методы получения более дешевого однотипного волокна из льна для производства пряжи, смешанной с хлопком, шерстью, химическими волокнами, а также высококачественной целлюлозы и композиционных материалов [4, 5]. В этой связи во всем мире возрос спрос на волокнистое льносырье и повысились требования к его качеству.

Важная роль в решении обозначенной проблемы принадлежит селекции. Как отмечал в своих трудах академик А. А. Жученко, именно селекция является наиболее экономически эффективным средством как при выводе сельского хозяйства из кризисной ситуации, так и в достижении его процветания [6]. В современных условиях важнейшим направлением в селекции сельскохозяйственных культур является устойчивость к неблагоприятным факторам среды. При этом селекционные программы должны быть направлены на придание сортам устойчивости к тем стрессорам, которые в наибольшей степени ограничивают величину и качество урожая.

Для льна-долгунца одним из таких факторов является гербицидный стресс. Гербициды, рекомендованные к применению на посевах льна, в целом способствуют повышению урожайности, при этом возможное негативное воздействие их на урожай ранее подробно не анализировалось [7]. Вместе с тем, гербициды в зависимости от их типа могут оказывать на растения фитотоксическое действие, вызывая всевозможные морфологические и физиологические изменения различной интенсивности, такие как усыхание листьев, хлороз, деформации, задержка роста, цветения и созревания [8, 9, 10]. Большинство этих изменений являются небольшими, переходными и не всегда связаны со снижением урожайности растений, однако могут влиять на качество продукции [11]. Учеными Федерального научного центра лубяных культур выявлены различия в реакции генотипов льна-долгунца на обработку гербицидом Магнум в рекомендованной норме расхода по динамике роста растений в критический период «елочка-бутонизация», когда происходит формирование волокна и его качества. Так, у линии V-8744-10 (Китай) в варианте с обработкой гербицидом, по сравнению с контролем, отставание в росте составило до 52,1 %, у сорта Атлант (Россия) – не превышало 12 % [12].

Исследования, выполненные в Институте натуральных волокон (Польша), показали существенное влияние гербицидов на продолжительность вегетации растений льна-долгунца, урожайность соломы, содержание волокна, массу и длину волокна, его тонкость и делимость. Наименьшее количество и масса сорняков, а также самые высокие показатели по урожайности и качеству льноволокна были получены после применения гербицида группы хлорсульфурон. Гербицид Бентазон, относящийся к химическому классу бензотиадиазинов, несмотря на свою высокую гербицидную эффективность, снижал как количество, так и качество волокнистой продукции по сравнению с хлорсульфуроном из-за своего фитотоксического воздействия на растения льна [4].

Для уменьшения негативного воздействия гербицидов на растения сельскохозяйственных культур во всем мире в последние десятилетия активно проводятся исследования, направленные на изучение механизмов их устойчивости к данному стрессовому фактору. В настоящее время с использованием методов генной инженерии по ряду культур созданы сорта, устойчивые к гербицидному стрессу [13, 14, 15]. Внедрение всего лишь одного гена позволяет растениям приобретать устойчивость к тому или иному гербициду. Однако во многих странах, включая Российскую Федерацию, использование трансгенных форм льна в производственных посевах запрещено, что требует поиска новых альтернативных путей решения данной проблемы.

С использованием традиционных и молекулярных методов впервые в мировой практике создан отечественный сорт льна-долгунца Атлант, который характеризуется устойчивостью к комплексу неблагоприятных факторов среды, включая гербицидоустойчивость [16].

Цель исследований – оценить в условиях Тверской области реакцию современных сортов льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции на обработку препаратом Магнум и выявить стрессоустойчивые формы к данному гербициду для использования в селекционных программах.

Научная новизна – впервые исследована реакция современных сортов льна-долгунца на гербицид Магнум в рекомендованной норме расхода по комплексу признаков, включающих как признаки продуктивности волокна и семян, так и качества волокна. Установлена связь продолжительности вегетационного периода с устойчивостью сортов льна к гербицидному стрессу по показателям семенной продуктивности. Выявлены новые источники устойчивости льна-долгунца к гербицидному стрессу.

Материал и методы. Исследования проводили в 2021–2023 гг. на опытном поле Института льна – обособленного подразделения ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (ОП НИИЛ ФГБНУ ФНЦ ЛК).

Объектом изучения служили 20 сортов льна-долгунца, относящихся к различным группам спелости:

- раннеспелые (продолжительность вегетационного периода 68…71 сут) – Тост 5, Томич 2, П. Крепкова (СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН); Добрыня и Пересвет (ОП Псковский НИИСХ ФГБНУ ФНЦ ЛК); Лидер (ОП Смоленский НИИСХ ФГБНУ ФНЦ ЛК);
- среднеспелые (72…76 сут) – Тонус, Сурский, Полет, Александрит, Девиз, Визит (ОП НИИЛ ФГБНУ ФНЦ ЛК); Синель (Фаленская СС – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока); Левит 1, Веста, Грант (РУП «Институт льна», Республика Беларусь);
- позднеспелые (77…83 сут) – Крепыш (ОП НИИЛ ФГБНУ ФНЦ ЛК); С-108, Союз (ОП Смоленский НИИСХ ФГБНУ ФНЦ ЛК); Alizee (компания «Van De Bild Zaden», Голландия).

Оценку сортов льна-долгунца проводили в полевых условиях – в луночном питомнике. Предшественником служили многолетние травы (клеверо-тимофеечная смесь). Почва опытного поля дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая с высоким содержанием фосфора – 280–370 мг/кг (по Кирсанову) и калия – 114–136 мг/кг (по Пейве), реакция почвенного раствора слабокислая – $pH_{сол}$ 5,09–5,43).

Закладку опыта, учеты и наблюдения выполняли в соответствии с методическими указаниями по селекции и первичному семеноводству льна-долгунца[1]. Участок для луночного питомника после основной обработки почвы дополнительно подрабатывали переоборудованным картофелекопателем, удаляя камни и растительные остатки. Затем вручную делали яруса (полосы) шириной 1 м, высотой до 0,2 м и длиной 25–30 м. Почву на ярусе прикатывали ручным катком и выравнивали по уровню. Поверхность яруса засыпали тонким слоем (около 1 мм) сухого песка через сито. Перед посевом почву на ярусе поливали (из расчета 1,5 л на 1 м^2) и маркировали на глубину 1 см с помощью специального селекционного маркера. Расстояние между центрами углублений (лунок) определяет площадь питания на одно растение, которое составило 2,5х2,5 см (1600 растений на 1 м^2), что является оптимальным для проявления сортовых различий по всем хозяйственным признакам. Высевали по 20 семян каждого сорта льна-долгунца в трехкратной повторности. Через 200 семян изучаемых генотипов льна высевали семена сорта-стандарта Атлант, который отличается очень высоким качеством льноволокна и устойчивостью к стрессовым факторам среды, включая гербицидный стресс.

Посев проводили семенами, полученными от оригинаторов сортов льна-долгунца, категория семян – оригинальные. Схема эксперимента включала варианты: 1 – без внесения гербицида (контроль); 2 – обработка посевов гербицидом Магнум, ВДГ в рекомендованной норме расхода (0,01 кг/га). Препарат Магнум, ВДГ (метсульфурон-метил, 600 г/кг) рекомендован на льне-долгунце против двудольных, в т. ч. устойчивых к МЦПА (4-Хлор-2-метилфеноксиуксусная кислота), и некоторых многолетних сорняков с нормой применения 0,008–0,010 кг/га.

Обработку посевов льна-долгунца препаратом Магнум проводили в фазу «елочка» (6-7 пар настоящих листьев), так как растения данной культуры в этот период менее подвержены гербицидному стрессу. Для обработки использовали ранцевый гидравлический опрыскиватель «Рапид». Расход рабочего раствора – 200 л/га.

[1]Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца: методические указания. Тверь: Тверской гос. ун-т, 2014. 140 с.

В сухую жаркую погоду проводили полив луночного питомника ежедневно утром и вечером в период от посева до ранней желтой спелости льна. Норма полива изменялась в зависимости от погодных условий, фазы роста и развития льна – от 1 до 5 л/м^2. Для предупреждения полегания льна в период роста на посевах (начиная с фазы «елочка») были установлены специальные металлические каркасы с сетками. Учетные делянки убирали в фазу «ранняя желтая спелость», которая является оптимальной для получения максимального урожая и качества льноволокна.

Исследуемые образцы оценивали по основным показателям продуктивности – высоте растений, весу технической части стебля, массе волокна и его содержанию в стебле, количеству коробочек и семян, а также показателям, определяющим качество льноволокна, – техническая длина и «мыклость» стебля (отношение технической длины к диаметру стебля в средней его части). Устойчивость растений льна к гербицидному стрессу определяли по методике Г. В. Удовенко[2] как отношение показателей продуктивности и качества волокна при стрессовых (вариант с обработкой растений гербицидом) и благоприятных условиях (контроль – без обработки), выраженное в процентах. При оценке реакции сортов льна-долгунца использовали понятие «адаптивность» в интерпретации Л. А. Животкова с соавт.[3] Математическую обработку данных (коэффициент вариации (n = 60), стандартное отклонение) выполняли в соответствии с общепринятыми методиками[4]. При ранжировании генотипов по уровню проявления признаков «урожайность» и «качество льноволокна» учитывали отклонение их величин от стандарта в соответствии с международным классификатором[5] и дескрипторами вида *Linum usitatissimum* L.[6]

Результаты и их обсуждение. В силу слабой конкурентоспособности растений льна для борьбы с сорной растительностью на посевах культуры применяются гербициды в полной рекомендованной норме расходов либо их композиции. Для уничтожения двудольных и злаковых сорняков в посевах льна-долгунца в настоящее время льносеющими предприятиями страны широко применяется гербицидная композиция: Магнум + Гербитокс Л + Миура, рекомендуемая норма расхода – 0,007 + 0,6 + 1,0 кг(л)/га [17]. Вместе с тем, как показали проводимые нами исследования (2008–2010 гг.), при обработке посевов льна-долгунца данной гербицидной композицией наблюдали значительное снижение качества волокнистого сырья. Так, в варианте с обработкой практически у всех изучаемых образцов номер трепаного льноволокна отмечен низким и находился на уровне – 8…10, в контроле (без применения гербицидов) – 12…14. Аналогичные результаты получены и по признаку «длина элементарного волокна», от величины которого зависит прядильная способность льноволокна [18]. В связи с этим нами были продолжены исследования по оценке чувствительности сортов льна-долгунца к одному из компонентов данной гербицидной композиции, в частности, препарату Магнум.

Для получения объективной оценки биологического потенциала изучаемых генотипов льна по продуктивности волокна учитывали такие показатели, как высота растений, вес технической части, масса и содержание волокна в стебле, число коробочек и семян на 1 растении.

Признак «высота растений» является одним из основных показателей, определяющих не только урожайность, но и качество льносырья. Изменчивость данного признака в зависимости от генотипа при благоприятных условиях выращивания (контроль) находилась в диапазоне от 78,8 до 95,8 см (табл. 1).

Наибольшую высокорослость из исследуемых сортов льна-долгунца проявили позднеспелые сорта С-108 (Россия) и Alizee (Голландия), среднеспелые – Сурский (Россия) и Грант (Республика Беларусь). Высота растений изменялась от 91,1 см (Грант) до 95,8 см (Сурский), что соответствовало уровню сорта-стандарта Атлант (96,6 см).

[2]Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство. Под ред. Г. В. Удовенко. Л.: ВИР, 1988. 227 с.

[3]Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «Урожайность». Селекция и семеноводство. 1994;(2):3–6.

[4]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

[5]Международный классификатор СЭВ вида *Linum usitatissimum* L. Рыкова Р., КутузоваС., Корнейчук В. [и др.]. Л.: Типография ВИР, 1989. 35 с.

[6]Nôžková J., Pavelek M., Bjelková M., Brutch N. B., Tjeklová e., Porokhovinova E. A., Brindza J. Descriptor list for flax *Linum usitatissimum* L. Slovak University of Agriculture in Nitra. 2016. 102 p.

DOI: https://doi.org/10.15414/2016.9788055214849

Таблица 1 – **Влияние гербицида Магнум на показатели продуктивности волокна современных сортов льна-долгунца (2021–2023 гг.) /**
Table 1 – **Effect of the herbicide Magnum on the fiber productivity of modern cultivars of flax (2022–2023)**

Сорт / Cultivar	*Вариант / Variant*	*Высота растений, см / Plant height, cm*	*Устойчивость, % / Resistance, %*	*CV, %*	*Вес технической части стебля, мг / Weight of technical part of stem, mg*	*Устойчивость, % / Resistance, %*	*CV, %*	*Масса волокна с растения, мг / Fiber weight per plant, mg*	*Устойчивость, % / Resistance, %*	*CV, %*	*Содержание волокна, % / Fiber content, %*	*Устойчивость, % / Resistance, %*	*CV, %*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Раннеспелая группа / Early ripening group													
Тост 5 / ‘Tost 5’	I	79,2±3,1	91,2	3,9	438,2±127,4	91,9	29,1	118,2±30,2	83,7	25,5	27,2±1,2	90,8	4,6
	II	72,2±5,2		7,2	402,9±185,2		46,0	98,9± 44,5		45,0	24,7±1,3		5,3
Томич 2 / ‘Tomich 2’	I	85,7±4,2	78,7	4,8	522,4±155,9	48,1	29,8	202,6±55,8	44,5	27,6	39±1,1	92,3	2,8
	II	67,5±9,0		13,3	251,4±135,3		53,8	90,2±50,3		55,7	36±4,2		11,6
П. Крепкова / ‘P.Krepkova’	I	90,8±5,2	78,6	5,8	557,0±154,7	69,6	27,8	180,6±44,4	65,4	24,6	32,7±1,3	94,2	4,0
	II	71,4±4,8		6,7	387,9±117,9		30,4	118,1±31,0		26,3	30,8±2,5		8,0
Добрыня / ‘Dobrynya’	I	84,5±4,2	83,7	5,0	453,5±152,8	74,0	33,7	155,8±48	64,6	30,8	34,7±1,6	84,7	4,7
	II	70,7±5,7		8,0	335,6±164,0		48,9	100,6±51,7		51,4	29,4±2,4		8,0
Пересвет / ‘Peresvet’	I	81,3±7,2	87,7	8,9	396,2±150,4	93,4	38,0	156,9±59,8	81,8	38,1	39,5±1,8	87,8	4,7
	II	71,3±5,4		7,5	369,9±170,9		46,2	128,4±58,8		45,8	34,7±3,7		10,8
Лидер / ‘Lider’	I	81,4±2,3	87,5	2,8	592,6±159,3	69,3	26,9	165,1±36,7	74,0	22,2	28,2±1,7	104,6	6,0
	II	71,3±3,8		5,3	410,9±107,3		26,1	122,1±42,5		34,8	29,5±4,1		14,0
Среднеспелая группа / Mid-ripening group													
Девиз / ‘Deviz’	I	87,3±3,2	78,3	3,7	556,2±148,6	58,2	26,7	195,8±51,5	52,7	26,3	35,3±1,3	91,2	3,7
	II	68,4±6,4		9,4	323,9±114,8		35,4	103,1±33,6		32,6	32,2±2,9		9,0
Визит / ‘Vizit’	I	85,9±2,8	84,3	3,3	557,6±94,7	73,0	17,0	198,4±35,8	66,4	18	35,6±1,1	91,0	3,1
	II	72,4±4,1		5,6	407,2±78,2		19,2	131,7±25,4		19,3	32,4±1,6		4,8
Тонус / ‘Tonus’	I	88,3±4,8	74,7	5,5	494,6±139,5	48,6	28,2	165,8±44,6	45,7	26,9	33,6±0,8	93,2	2,4
	II	65,9±5,5		8,3	240,2±117,1		48,8	75,8±38,6		50,9	31,3±1,7		5,3
Сурский / ‘Surskiy’	I	95,8±6,0	80,0	6,3	529,4±184,0	77,4	34,8	173,1±61,2	76,0	35,4	32,8±2,4	98,2	7,3
	II	76,6±9,1		11,9	409,6±299,6		73,1	131,5±95,6		72,7	32,2±1,7		5,2

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Среднеспелая группа / Mid-ripening group													
Полёт / ‘Polet’	I	90,6±5,3	73,3	5,8	575,4±193,0	64,5	33,5	197,6±64,4	64,3	32,6	34,8±1,9	89,1	5,5
	II	66,4±12,3		18,5	371,3±263,6		71,0	127±79,9		62,9	31±1,2		4,0
Александрит / ‘Alexandrit’	I	83,6±9,0	85,1	8,7	410,9±155,9	91,0	37,9	126,1±49	90,2	38,9	31±3,9	101,0	12,6
	II	71,1±5,9		8,3	373,7±125,3		33,5	113,7±31,3		27,6	31,3±5		16,0
Синель / ‘Sinel’	I	90,1±4,4	90,2	4,9	438,7±135,1	111,1	30,8	116,3±37,9	101,5	32,5	26,3±1,1	91,6	4,2
	II	81,3±6,5		7,9	487,5±141,8		29,1	118±36		30,5	24,1±1,1		4,6
Левит 1 / ‘Levit 1’	I	81,8±3,1	77,1	3,7	507,1±133,2	58,4	26,3	168,7±43,4	52,9	25,7	33,3±1,4	91,0	4,2
	II	63,1±4,7		7,5	296,3±64,9		21,9	89,2±17,3		19,4	30,3±2		6,7
Веста / ‘Vesta’	I	88,8±3,2	85,2	3,6	503,4±150,8	91,8	30,0	176,5±49,9	83,9	28,3	35,2±1,2	90,6	3,3
	II	75,7±4,9		6,5	462,1±123,3		26,7	148,1±43,1		29,1	31,9±4,1		12,8
Грант / ‘Grant’	I	91,1±5,1	88,4	5,7	473,6±127,4	92,4	26,9	151,6±44,8	83,9	29,6	32±3,5	91,3	11,0
	II	80,5±4,5		5,6	437,7±198,5		45,3	127,2±58,3		45,8	29,2±2,8		9,7
Позднеспелая группа / Late-maturing group													
Крепыш / ‘Krepysh’	I	78,8±4,6	97,8	5,3	508,4±197,1	100,6	38,8	165,9±58,4	96,0	35,2	33,1±1,7	95,2	5,0
	II	77,1±5,1		6,7	511,3±109,4		21,4	159,2±32,2		20,3	31,5±4,2		13,4
С-108 / ‘S-108’	I	92,4±6,4	90,4	6,9	609,6±211,4	113,1	34,7	137,9±49,3	100,2	35,8	22,6±2,2	89,4	9,8
	II	83,5±5,8		7,0	689,3±194,8		28,3	138,2±36,9		26,7	20,2±0,9		4,6
Союз / ‘Soyuz’	I	89,3±6,1	91,6	6,9	489,5±159,1	119,9	32,5	135,7±49,4	105,6	36,4	27,6±5,1	90,6	18,4
	II	81,7±6,8		8,3	587,0±161,0		27,4	143,3±31,9		22,3	25±3,2		12,8
‘Alizee’	I	93,0±2,5	86,2	2,7	636,2±219,2	71,1	34,5	211,7±71,1	67,5	33,6	33,3±1,0	95,5	2,9
	II	80,2±5,0		6,2	452,2±148,4		32,8	142,8±47,2		33,1	31,8±3,7		11,8
Атлант, ст. / ‘Atlant’, st.	I	96,6±4,7	91,5	4,8	637,8±188,6	88,2	29,6	149±40,0	80,4	26,8	23,5±1,4	91,9	6,1
	II	88,4±5,6		6,3	562,6±159,0		28,3	119,8±28,2		23,6	21,6±1,4		6,4
Среднесортовое значение / Average value	I	87,4	-	-	514,4	95,4	-	162,8	-	-	31,9	-	-
	II	74,2		-	418,3		-	120,3		-	29,5		-

Примечания: I – вариант без обработки (контроль); II – вариант с обработкой гербицидом Магнум в дозе 0,01 кг/га /
Notes: I – option without processing (control); II – variant with treatment with Magnum herbicide at a dose of 0.01 kg/ha

В варианте с обработкой посевов льна-долгунца гербицидом Магнум в рекомендуемой норме расхода отмечено снижение величины признака в среднем по опыту с 87,4 см (контроль – без обработки) до 74,2 см, или на 15,1 %. При этом имело место повышение вариабельности: контроль – 2,7 % (Alizee)…8,9 % (Пересвет), вариант с обработкой – 5,3 % (Лидер)…18,5 % (Полет).

Сравнительная оценка реакции исследуемых сортов льна-долгунца на обработку гербицидом Магнум по признаку «высота растений» позволила дифференцировать их по устойчивости к данному стрессовому фактору. Наиболее чувствительными к гербициду выделены сорта Томич 2, П. Крепкова, Добрыня, Тонус, Сурский, Полет, Девиз, Визит и Левит 1, у которых высота растений в варианте с обработкой составила 66,4 см (Полет)…72,4 см (Визит), или 73,3…84,3 % к контролю. Сорта С-108, Союз, Крепыш, Синель (Россия) и Грант (Республика Беларусь) проявили устойчивость от 88,4 % (Грант) до 97,8 % (Крепыш), что соответствовало уровню сорта-стандарта Атлант (91,5 %).

По признаку «вес технической части стебля» различия между генотипами в контроле были в пределах 396,2 мг (Пересвет)…636,2 мг (Alizee). На уровне стандарта Атлант (637,8 мг) находились сорта П. Крепкого, Лидер, С-108, Полет, Девиз, Визит (Россия) и Alizee (Голландия). В зависимости от генотипа вариабельность признака имела значения от 17,0 % (Визит) до 38,8 % (Крепыш).

В варианте с обработкой гербицидом величина признака «вес технической части стебля» имела диапазон 240,2 мг/раст. (Тонус) …689,3 (С-108) мг/раст. Наиболее высоким проявлением признака характеризовались сорта российской селекции – С-108 (689,3 мг/раст.), Союз (587,0), Крепыш (511,3) и Синель (487,5), у стандарта Атлант – 562,6 мг/раст. Данные сорта проявили высокий уровень устойчивости к гербициду (свыше 100 %), остальные – существенно уступали стандарту на селективном фоне по данному признаку. В качестве наиболее чувствительных к гербициду отмечены сорта Томич 2, П. Крепкова, Добрыня, Лидер, Тонус, Полет, Девиз и Alizee, величина признака у которых снизилась по сравнению с контролем на 26,0 % (Добрыня)…51,9 % (Томич 2). При этом у таких сортов, как Тост 5, Томич 2, Добрыня, Тонус, Сурский, Полет и Грант вариабельность признака на селективном фоне возросла более чем в 1,5 раза.

Генотипические различия в контроле по признаку «содержание волокна в стебле» составили 22,6 % (С-108)…39,5 % (Пересвет). Наиболее высокой волокнистостью отличились сорта Томич 2, Пересвет, Добрыня, Девиз, Визит, Полет, Надежда (Россия), Веста (Республика Беларусь) и Alizee (Голландия), у которых проявление признака находилось на уровне 33,8…39,5 %, что существенно выше среднесортового значения (31,9 %).

Величина данного признака в варианте с обработкой гербицидом в зависимости от генотипа имела размах варьирования от 20,2 % (С-108) до 36,0 % (Томич 2) при среднесортовом значении 29,5 %. Изменчивость содержания волокна в стебле у большей части испытываемых генотипов была невысокой (менее 10 %), при этом у ряда сортов (Томич 2, П. Крепкова, Пересвет, Лидер, Крепыш, Девиз, Веста и Alizee) отмечено усиление внутрисортовой изменчивости признака в варианте с гербицидной обработкой по сравнению с контролем более чем в 2 раза. Сорта Александрит и Союз проявили повышенную вариабельность признака в обоих вариантах опыта: контроль – 12,6 и 18,4 %, с обработкой гербицидом – 16,0 и 12,8 % соответственно, что указывает на их недостаточную генотипическую однородность.

Гербицидный стресс наиболее сильно проявился у сортов Добрыня, Пересвет и Полет – снижение содержания волокна по сравнению с контролем составило 5,3; 4,8; 3,8 абс.% соответственно. По уровню устойчивости все другие изучаемые сорта не уступали стандарту – сорту Атлант, у которого данный показатель составил 91,9 %.

Наиболее значимым признаком является «масса волокна с растения», величина которого в зависимости от генотипа в контроле составила от 116,3 мг (Синель) до 211,7 мг (Alizee). Существенно превзошли стандарт по данному показателю сорта Томич 2, П. Крепкова, Сурский, Полет, Девиз, Визит (Россия), Веста (Республика Беларусь) и Alizee (Голландия), величина признака находилась в диапазоне от 176,5 мг/раст. (Веста) до 211,7 мг/раст. (Alizee).

В варианте с обработкой гербицидом величина этого показателя изменялась от 75,8 мг/раст. (Тонус) до 159,2 мг/раст. (Крепыш), у сорта-стандарта Атлант масса волокна с растения составила 119,8 мг, что соответствовало среднесортовому значению – 120,3 мг. На уровне стандарта по данному признаку находились сорта

Пересвет, Лидер, С-108, Сурский, Полет, Визит, Ласка, Грант, у которых величина признака была в диапазоне от 122,1 мг/раст. (Лидер) до 138,2 мг/раст. (С-108). У сортов Крепыш, Союз, Веста и Alizee масса волокна составила 142,8…159,2 мг с растения, что существенно выше стандарта.

По признаку «масса волокна с растения» устойчивостью к гербицидному стрессу обладали сорта Тост 5, Пересвет, С-108, Союз, Александрит, Крепыш, Синель и Грант, уровень устойчивости которых составил 81,8 % (Пересвет)…105,6 % (Союз), при значении 80,4 % у стандарта Атлант. У сортов Томич 2, П. Крепкова, Добрыня, Полет, Девиз, Визит, Левит 1 и Alizee под действием стрессового фактора величина признака по сравнению с контролем снизилась на 32,5 % (Alizee)…55,5 % (Томич 2).

Сорта С-108, Союз, Пересвет, Крепыш и Грант по признаку «масса волокна с растения» проявили не только устойчивость к гербицидному стрессу, но и высокий адаптивный потенциал, превысив на селективном фоне среднесортовое значение показателя. У сорта Alizee, несмотря на существенное снижение основных параметров продуктивности волокна, масса волокна отмечена выше среднесортового значения, что свидетельствует о высокой пластичности данного сорта.

Признак «техническая длина стебля» является одним из основных показателей, определяющих качество льноволокна, чем выше данный показатель, тем выше номер длинного (трепаного) волокна. При технической длине стебля менее 60 см льносырье считается некондиционным.

Размах варьирования данного признака в контроле составил от 66,0 см (Лидер, Левит 1) до 85,8 см (Сурский), у стандарта Атлант – 84,4 см (табл. 2). Сорта П. Крепкова, С-108, Тонус, Сурский, Полет, Синель (Россия), Веста, Грант (Республика Беларусь) и Alizee (Голландия) превысили среднесортовое значение признака (75,7 см).

В варианте с обработкой гербицидом в целом по опыту снижение показателя «техническая длина стебля», по сравнению с контролем, составило 14,2 см, или 18,8 %. Наибольшую устойчивость к воздействию гербицида Магнум проявили сорта С-108, Сурский, Крепыш, Синель (Россия), Грант (Республика Беларусь) и Alizee (Голландия) – 79,7 % (Сурский) …86,7 % (Alizee), у сорта-стандарта Атлант – 91,8 %, при этом на селективном фоне данные генотипы превысили среднесортовое значение признака (61,5 см).

Признак «мыклость стебля» является косвенным, характеризующим качество льноволокна. Чем выше значение данного показателя, тем более качественное волокно получается при переработке льносырья. Вариабельность данного признака в контроле и варианте с обработкой, как правило, имела значение менее 20 %. Исключение составили сорта Тост 5 (в контроле и на селективном фоне), Добрыня, Тонус, Сурский, Полет, Синель, Грант (на селективном фоне) с более высокой внутрисортовой изменчивостью признака – от 21,9 % (Тонус) до 44,1 % (Добрыня).

В варианте без гербицидной обработки величина признака «мыклость стебля» в зависимости от генотипа изменялась от 386,9 ед. (Лидер) до 597,9 ед. (Сурский). Наиболее высокие значения признака (свыше 501,4 ед.) проявили сорта Томич 2, П. Крепкова, Добрыня, Пересвет, Тонус, Сурский, Полет, Александрит, Крепыш, Синель (Россия), Веста, Грант (Республика Беларусь), Alizee (Голландия) при среднесортовом значении 512,3 ед.

В варианте с применением гербицида Магнум среднесортовое значение признака снизилось на 14,6 %. Чувствительность к гербицидному стрессу выявлена у сортов Синель и С-108 – снижение признака на селективном фоне по сравнению с контролем составило 30,2 и 26,3 % соответственно.

У сорта-стандарта Атлант устойчивость к гербициду по рассматриваемому признаку составила 90,3 %. Не уступали стандарту сорта Тост 5, Томич 2, Лидер, Тонус, Сурский, Полет, Грант и Alizee. Сорта Томич 2, Тонус, Сурский (Россия), Грант (Республика Беларусь) и Alizee (Голландия) сочетали высокое значение признака «мыклость стебля» и устойчивость к воздействию гербицида Магнум.

Основными признаками, определяющими продуктивность льносемян, являются число коробочек и семян на 1 растении. Следует отметить высокую вариабельность данных признаков как в контроле, так и на селективном фоне. Среднесортовые значения признаков в том и другом варианте были одинаковыми – 4,5 и 34,7 шт. на 1 растение соответственно. Отмечен относительно контроля более широкий размах изменчивости этих признаков в варианте с обработкой гербицидом по числу коробочек на 1 растение – от 2,2 шт. (Томич 2) до 7,8 шт. (Союз, С-108); по числу семян – от 15,2 шт. (Томич 2) до 66,4 шт. (С-108) (табл. 3).

Таблица 2 – **Влияние гербицида Магнум на показатели качества волокна современных сортов льна-долгунца (2021–2023 гг.) /**
Table 2 – **Effect of the herbicide Magnum on the fiber quality indicators of modern cultivars of fiber flax (2021–2023)**

Сорт / Cultivar	*Вариант / Variant*	*Техническая длина стебля, см / Technical length of stem, cm*	*Устойчивость, % / Resistance, %*	*CV, %*	*Мыклость стебля, ед. / Rippleness, units*	*Устойчивость, % / Resistance, %*	*CV, %*
Раннеспелая группа / Early maturing group							
Тост 5/ ‘Tost 5’	I	67,3±1,4	86,0	2,1	428,6±133,8	91,2	31,2
	II	57,9±3,4		5,8	390,7±95,1		24,3
Томич 2/ ‘Tomich 2’	I	73,7±2,4	82,1	3,3	516,1±73,0	109,0	14,1
	II	60,5±5,1		8,4	562,7±107,9		19,2
П. Крепкова / ‘P. Krepkova’	I	79,1±3,2	74,7	4	514,3±67,4	81,4	13,1
	II	59,1±4,0		6,7	418,6±45,2		10,8
Добрыня / ‘Dobyinya’	I	75,3±3,2	83,7	4,2	577,7±92,5	86,8	16,0
	II	63,0±3,9		6,2	501,6±221,2		44,1
Пересвет / ‘Peresvet’	I	71,6±5,5	85,1	7,7	548,2±76,5	83,7	14,0
	II	60,9±5,6		9,2	458,7±86,2		18,8
Лидер / ‘Lider’	I	66,0±1,3	86,4	2	386,9±40,1	102,3	10,4
	II	57,0±3,6		6,3	395,9±75,7		19,1
Среднеспелая группа / Mid-ripening group							
Девиз / ‘Deviz’	I	74,7±1,8	78,2	2,4	481,4±50,0	88,2	10,4
	II	58,4±5,8		9,9	424,4±102,2		24,1
Визит / ‘Vizit’	I	73,2±2,9	82,8	4	467,6±47,3	81,0	10,1
	II	60,6±4,9		8,1	378,6±49,1		13,0
Тонус / ‘Tonus’	I	77,5±3,5	73,3	4,5	539,6±70,5	92,4	13,1
	II	56,8±4,0		7	498,6±109,1		21,9
Сурский / ‘Surskiy’	I	85,8±4,9	79,7	5,7	597,9±82,8	94,2	13,8
	II	68,4±4,5		6,6	563,4±150,1		26,6
Полёт / ‘Polet’	I	78,1±4,1	74,3	5,3	501,4±84,9	92,0	16,9
	II	58,0±4,9		8,4	461,1±130,2		28,2
Александрит / ‘Alexandrit’	I	72,0±8,8	78,5	12,3	505,0±103,5	79,2	20,5
	II	56,5±4,3		7,6	400,1±73,6		18,4
Синель / ‘Sinel’	I	77,3±2,9	82,7	3,7	539,1±81,0	69,8	15,0
	II	63,9±10,9		17	376,6±93,6		24,9
Левит 1 / ‘Levit 1’	I	66,1±1,4	72,0	2,1	440,6±66,6	76,9	15,1
	II	47,6±3,8		7,9	338,7±59,2		17,5
Веста / ‘Vesta’	I	78,7±2,9	78,5	3,6	580,1±63,8	74,2	11,0
	II	61,8±7,0		11,4	430,4±77,3		18,0
Грант / ‘Grant’	I	81,5±5,4	86,1	6,6	591,7±88,6	89,6	15,0
	II	70,2±6,1		8,6	530,0±121,9		23,0
Позднеспелая группа / Late-maturing group							
Крепыш / ‘Krepysh’	I	73,7±2,6	85,9	3,6	519,9±96,4	75,2	18,5
	II	63,3±5,2		8,2	391,2±64,2		16,4
С-108 / ‘S-108’	I	78,4±3,9	82,4	5	468,0±78,0	73,7	16,7
	II	64,6±4,0		6,2	344,9±50,3		14,6
Союз / ‘Soyuz’	I	74,2±5,2	84,5	7	478,8±60,2	79,1	12,6
	II	62,7±3,2		5,1	378,6±64,5		17,0
‘Alizee’	I	81,7±2,0	86,7	2,5	516,6±81,1	98,0	15,7
	II	70,8±5,2		7,4	506,2±102,0		20,1
Атлант, ст. / ‘Atlant’, st.	I	84,4±4,2	91,8	5	540,9±92,6	90,3	17,1
	II	77,5±4,4		5,7	488,4±53,7		11,0
Среднесортовое значение / Average value	I	75,7	-	-	512,3	-	-
	II	61,5		-	437,6	-	-

Примечания: I – вариант без обработки (контроль); II – вариант с обработкой гербицидом Магнум в дозе 0,01 кг/га /
Notes: I – option without processing (control); II – variant with treatment with Magnum herbicide at a dose of 0.01 kg/ha

Таблица 3 – **Влияние гербицида Магнум на показатели семенной продуктивности современных сортов льна-долгунца (2021–2023 гг.) /**
Table 3 – **Effect of the herbicide Magnum on the seed productivity of modern cultivars of fiber flax (2021–2023)**

Сорт / Cultivar	*Вариант / Variant*	*Число коробочек, шт/раст. / Number of bolls, pcs/plant*	*Устойчивость, %/ Resistance, %*	*CV, %*	*Число семян, шт/раст. / Number of seeds, pcs*	*Устойчивость, % / Resistance, %*	*CV, %*
Раннеспелая группа / Early maturing group							
Тост 5 / ‘Tost 5’	I	5,5±2,3	118,1	41,3	41,7±15,5	111,8	37,1
	II	6,4±4,7		72,4	46,7±31,8		68,2
Томич 2 / ‘Tomich 2’	I	4,8±2,0	45,1	41,6	35,6±14,3	42,6	40,3
	II	2,2±1,1		53,1	15,2±9,7		63,7
П. Крепкова/ ‘P. Krepkova’	I	3,6±1,3	91,7	37,5	22,7±9,7	110,6	42,9
	II	3,3±1,2		35,1	25,1±13,5		53,7
Добрыня / ‘Dobrynya’	I	3,3±1,7	85,4	51,6	26,9±15,1	84,2	56,2
	II	2,8±1,5		52,2	22,6±14,5		64,0
Пересвет / ‘Peresvet’	I	3,9±1,6	95,9	40,4	27,5±12,8	101,7	46,6
	II	3,8±2,0		54,7	28,0±15,4		55,0
Лидер / ‘Lider’	I	6,9±2,3	79,2	34,1	56,4±19,2	72,7	34,1
	II	5,4±2,3		42,6	41,0±15,6		38,2
Среднеспелая группа / Mid-ripening group							
Девиз / ‘Deviz’	I	4,8±1,5	73,7	32,5	35,3±11,4	72,2	32,3
	II	3,5±2,0		56,9	25,5±17,4		68,3
Визит / ‘Vizit’	I	3,9±1,2	102,9	30,0	34,2±10,8	105,2	31,7
	II	4,0±1,5		36,8	36,0±14,2		39,4
Тонус / ‘Tonus’	I	5,2±2,1	63,7	40,3	40,6±15,6	60,5	38,4
	II	3,3±2,1		62,3	24,6±16,7		67,7
Сурский/ ‘Surskiy’	I	4,0±1,7	71,9	43,3	34,3±15,4	75,5	45,0
	II	2,9±2,0		68,2	25,9±19,3		74,8
Полёт / ‘Polet’	I	4,7±1,8	82,2	38,5	37,6±15,1	77,0	40,2
	II	3,9±3,4		87,7	29,0±27,1		93,6
Александрит / ‘Alexandrit’	I	4,3±2,1	123,1	47,6	34,9±14,3	107,6	41,1
	II	5,3±2,2		40,5	37,5±19,7		52,6
Синель / ‘Sinel’	I	4,0±1,9	158,3	48,6	27,8±14,7	163,1	52,8
	II	6,3±2,3		36,5	45,3±17,0		37,6
Левит 1 / ‘Levit 1’	I	3,8±1,5	91,7	38,5	32,5±11,6	82,0	35,8
	II	3,5±1,6		47,1	26,6±13,6		51,3
Веста / ‘Vesta’	I	2,8±0,9	134,6	32,8	19,8±6,9	131,3	34,6
	II	3,8±1,0		26,9	26,0±8,2		31,5
Грант / ‘Grant’	I	3,7±1,6	105,3	41,7	26,9±11,2	107,5	41,8
	II	3,9±2,2		56,5	28,9±19,5		67,4
Позднеспелая группа / Late-maturing group							
Крепыш / ‘Krepysh’	I	4,6±2,4	123,6	52,5	31,5±13,9	141,4	44,3
	II	5,7±2,2		38,9	44,5±17,7		39,8
С-108 / ‘S-108’	I	5,3±2,7	148,2	51,1	50,4±24,3	131,9	48,2
	II	7,8±3,1		39,2	66,4±28,3		42,7
Союз / ‘Soyuz’	I	4,8±1,9	162,1	40,3	36,1±14,0	169,8	38,8
	II	7,8±2,8		35,6	61,3±23,2		37,8
‘Alizee’	I	3,8±1,6	84,2	42,6	30,5±11,8	90,5	38,7
	II	3,2±2,3		70,3	27,6±23,3		84,5
Атлант, ст. / ‘Atlant’, st.	I	5,4±2,1	89,3	38,3	39,8±17,0	92,5	42,8
	II	4,8±2,0		41,0	36,8±15,4		41,7
Среднесортовое значение/ Average value	I	4,5	-	-	34,7	-	-
	II	4,5	-	-	34,7	-	-

Примечания: I – вариант без обработки (контроль); II – вариант с обработкой гербицидом Магнум в дозе 0,01 кг/га /
Notes: I – option without processing (control); II – variant with treatment with Magnum herbicide at a dose of 0.01 kg/ha

Реакция изучаемых генотипов на применение гербицида оказалась неоднозначной. Устойчивость стандартного сорта Атлант к гербицидному стрессу по признаку «количество коробочек на 1 растении» составила 89,3 %, по признаку «количество семян на 1 растении» – 92,5 %. Наиболее значимое снижение этих показателей семенной продуктивности отмечено у сортов Томич 2, Тонус, Сурский и Девиз, которое составило 54,9 и 57,4, 36,3 и 39,5, 28,1 и 24,5, 26,3 и 27,8 % соответственно. У позднеспелых (С-108, Союз, Крепыш) и среднеспелых (Синель и Веста) сортов, напротив, в варианте с обработкой гербицидом величина данных признаков по сравнению с контролем возросла на 48,2 и 31,9 %, 62,1 и 69,8, 23,6 и 41,4, 58,3 и 63,1, 34,6 и 31,3 % соответственно. Полученные данные позволяют сделать предположение, что сорта позднеспелой группы в меньшей мере подвержены гербицидному стрессу по признакам семенной продуктивности, поскольку все они признаны устойчивыми.

Заключение. В результате комплексной оценки 20 современных сортов льна-долгунца в условиях Тверской области выявлена сортоспецифичность по их реакции на обработку гербицидом Магнум в рекомендованной норме расхода (0,01 кг/га). Снижение основных параметров продуктивности и качества волокна на селективном фоне у наиболее чувствительного сорта Левит 1 (Республика Беларусь) по сравнению с контролем составило: высота растений – 22,9 %, вес технической части стебля – 41,6 %, масса волокна – 47,1 %, техническая длина – 28,0 %, мыклость стебля – 23,1 %. Уменьшение семенной продуктивности зафиксировано только у ранне- и среднеспелых сортов, в частности, у раннеспелого Томич 2 число коробочек и семян с 1 растения снизилось более чем на 50 %. По основным показателям продуктивности волокна и семян высокий уровень устойчивости к гербицидному стрессу (свыше 90 %) проявили позднеспелые сорта – С-108, Союз и Крепыш (ФГБНУ ФНЦ ЛК), которые также превзошли среднесортовые значения по анализируемым признакам на селективном фоне. По параметрам качества волокна высокую стрессоустойчивость проявил среднеспелый сорт Сурский (ФГБНУ ФНЦ ЛК), который на обоих фонах превысил среднесортовые значения по признакам «техническая длина стебля» и «мыклость стебля». Среднеспелый сорт Грант (Республика Беларусь) характеризовался высоким уровнем устойчивости как по параметрам продуктивности (волокно, семена), так и качества льноволокна. Полученные результаты указывают на перспективность селекции льна-долгунца на гербицидоустойчивость, основанную на использовании биологического потенциала культуры льна.

Список литературы

1. Виноградова Т. А., Кудряшова Т. А., Козьякова Н. Н. Влияние особенностей сортов льна-долгунца на результаты переработки льнотресты различного качества. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023;(4(64)):21–28. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=59850664 EDN: LXBZUS

2. Басова Н. В., Новиков Э. В., Безбабченко А. В. Производство и переработка лубяных культур в России как элемент импортозамещения. АПК: экономика, управление. 2022;(8):71–78. DOI: https://doi.org/10.33305/228-71 EDN: JEECCW

3. Миневич И. Э., Ущаповский И. В. Изучение целлюлозы, полученной из вторичного сырья лубяных культур, в качестве потенциального источника для различных отраслей индустрии. Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2023;3(3):49–58. DOI: https://doi.org/10.54016/SVITOK.2023.78.64.007 EDN: JWPZPO

4. Mańkowski J., Pudełko K., Kołodziej J., Karaś T. Effect of herbicides on yield and quality of straw and homomorphic fibre in flax (*Linum usitatissimum* L.). Industrial Crops and Products. 2015;70:185–189. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.035

5. Басова Н. В., Новиков Э. В., Безбабченко А. В. Экономическая эффективность первичной переработки льна-долгунца и производства пеллет в фермерских хозяйствах и сельхозкооперативах. АПК: экономика, управление. 2023;(7):94–98. DOI: https://doi.org/10.33305/237-94 EDN: RQYSRP

6. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (экологогенетические основы). М.: РУДН, 2001. Т.2. 1489 с.

7. Кудрявцев Н. А., Логинов С. В., Стороженко П. А. Эффективность применения атрано-протатрановой композиции при обработке семян и посевов льна. Journal of Agriculture and Environment. 2024;(4(44)):5. DOI: https://doi.org/10.54016/SVITOK.2023.78.64.007 EDN: RMKVHA

8. Kurtenbach M. E., Johnson E. N., Gulden R. H., Willenborg C. J. Tolerance of flax (*Linum usitatissimum* L.) to fluthiacet-methyl, pyroxasulfone, and topramezone. Weed Technology. 2019;33(3):509–517. DOI: https://doi.org/10.1017/wet.2019.8

9. Negrisoli E., Velini E. D., Tofoli G. R., Cavenaghi A. L., Martins D., Morelli J. L., Costa A. G. F. Selectivity of pre-emergence herbicides to sugarcane treated with nematicides. Planta Daninha. 2004;22(4):567–575. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-83582004000400011

10. Mattiuzzi M. D., Albrecht A. J. P., Baccin L. C., Silva A. F. M., Albrecht L. P., Larini W. F. Potential selectivity of herbicides in pre-and post-emergent linseed (*Linum usitatissimum* L.). Revista de Agricultura Neotropical. 2022;9(4):e7058. DOI: https://doi.org/10.32404/rean.v9i4.7058

11. Vasiliev A. S., Farinyuk Y. T., Yakovleva S. V., Kudryavtsev N. A. Phytopathological condition of flax crops during treatment with hightech preparations. Annals of Biology. 2022;38(1):71–76. URL: https://elibrary.ru/RKVCKS EDN: RKVCKS

12. Рожмина Т. А., Жученко А. А., Герасимова Е. Г., Андреева И. А., Смирнова А. Д. Влияние гербицида Магнум на урожайность и качество льнопродукции. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):844–856. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.844-856 EDN: GNKHQC

13. McSheffrey S. A., McHughen A., Devine M. D. Characterization of transgenic sulfonylurea-resistant flax (*Linum usitatissimum* L.). Theoretical and Applied Genetics. 1992;84(3):480–486. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00229510

14. Зеленская О. В. К вопросу о возделывании сортов риса, устойчивых к гербицидам. Обзор. Научный журнал КубГАУ. 2011;(67):375–386. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=15644587 EDN: NEJCUV

15. Гончаров С. В., Горлова Л. А. Селекция рапса на устойчивость к гербицидам: результаты и перспективы. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018;(4(176)):42–47. DOI: https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-4-176-42-47 EDN: YVEINN

16. Dmitriev A. A., Pushkova E. N., Novakovskiy R. O., Beniaminov A. D., Rozhmina T. A., Bolsheva N. L., et al. Genome sequencing of fiber flax cultivar atlant using oxford nanopore and illumina platforms. Frontiers in Genetics. 2021;11:590282. DOI: https://doi.org/10.3389/fgene.2020.590282

17. Захарова Л. М. Баковые смеси гербицидов в посевах льна. Защита и карантин растений. 2014;(4):20. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=21302993 EDN: RYENAV

18. Рожмина Т. А., Мельникова Н. В., Головлев М. Г., Смирнова М. И., Куземин И. А. Скрининг образцов генофонда льна на устойчивость к неблагоприятным факторам. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(10):11–15. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11002 EDN: YOCRQD

References

1. Vinogradova T. A., Kudryashova T. A., Koz'yakova N. N. The influence of characteristics of fiber flax varieties on processing results of flax trusts of various qualities. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2023;(4(64)):21–28. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=59850664

2. Basova N. V., Novikov E. V., Bezbabchenko A. V. Production and processing of bast crops in Russia as an element of import substitution. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2022;(8):71–78. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33305/228-71

3. Minevich I. E., Ushchapovskiy I. V. The study of cellulose obtained from the secondary raw materials of bast crops as a potential source for various industries. *Tekhnicheskie kul'tury. Nauchnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = Technical crops Scientific agricultural journal. 2023;3(3):49–58. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.54016/SVITOK.2023.78.64.007

4. Mańkowski J., Pudełko K., Kołodziej J., Karaś T. Effect of herbicides on yield and quality of straw and homomorphic fibre in flax (*Linum usitatissimum* L.). Industrial Crops and Products. 2015;70:185–189. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.035

5. Basova N. V., Novikov E. V., Bezbabchenko A. V. Economic efficiency of primary processing of flax and pellet production in farms and agricultural cooperatives. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2023;(7):94–98. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33305/237-94

6. Zhuchenko A. A. Adaptive plant breeding system (ecological and genetic foundations). Moscow: *RUDN*, 2001. Vol. 2. 1489 p.

7. Kudryavtsev N. A., Loginov S. V., Storozhenko P. A. Efficiency of application of atrano-protatran composition in the treatment of flax seeds and crops. Journal of Agriculture and Environment. 2024;(4(44)):5. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.54016/SVITOK.2023.78.64.007

8. Kurtenbach M. E., Johnson E. N., Gulden R. H., Willenborg C. J. Tolerance of flax (*Linum usitatissimum* L.) to fluthiacet-methyl, pyroxasulfone, and topramezone. Weed Technology. 2019;33(3):509–517. DOI: https://doi.org/10.1017/wet.2019.8

9. Negrisoli E., Velini E. D., Tofoli G. R., Cavenaghi A. L., Martins D., Morelli J. L., Costa A. G. F. Selectivity of pre-emergence herbicides to sugarcane treated with nematicides. Planta Daninha. 2004;22(4):567–575. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-83582004000400011

10. Mattiuzzi M. D., Albrecht A. J. P., Baccin L. C., Silva A. F. M., Albrecht L. P., Larini W. F. Potential selectivity of herbicides in pre-and post-emergent linseed (*Linum usitatissimum* L.). Revista de Agricultura Neotropical. 2022;9(4):e7058. DOI: https://doi.org/10.32404/rean.v9i4.7058

11. Vasiliev A. S., Farinyuk Y. T., Yakovleva S. V., Kudryavtsev N. A. Phytopathological condition of flax crops during treatment with hightech preparations. Annals of Biology. 2022;38(1):71–76. URL: https://elibrary.ru/RKVCKS EDN: RKVCKS

12. Rozhmina T. A., Zhuchenko A. A., Gerasimova E. G., Andreeva I. A., Smirnova A. D. The effect of the herbicide Magnum on the yield and quality of flax products. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):844-856. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.844-856

13. McSheffrey S. A., McHughen A., Devine M. D. Characterization of transgenic sulfonylurea-resistant flax (*Linum usitatissimum*). Theoretical and Applied Genetics. 1992;84(3):480–486. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00229510

14. Zelenskaya O. V. Cultivation of herbicides resistant rice varietes. Review. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* = Scientific Journal of KubSAU. 2011;(67):375–386. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=15644587

15. Goncharov S. V., Gorlova L. A. Selektsiya rapsa na ustoychivost' k gerbitsidam: rezul'taty i perspektivy. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2018;(4(176)):42–47. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-4-176-42-47

16. Dmitriev A. A., Pushkova E. N., Novakovskiy R. O., Beniaminov A. D., Rozhmina T. A., Bolsheva N. L., et al. Genome sequencing of fiber flax cultivar atlant using oxford nanopore and illumina platforms. Frontiers in Genetics. 2021;11:590282. DOI: https://doi.org/10.3389/fgene.2020.590282

17. Zakharova L. M. Bakovye smesi gerbitsidov v posevakh l'na. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2014;(4):20. (In Russ) URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=21302993

18. Rozhmina T. A., Melnikova N. V., Golovlev M. G., Smirnova M. I., Kuzemin I. A. Screening of samples from flax gene pool for resistance to unfavourable factors. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;32(10):11–15. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11002

Сведения об авторах

✉ **Рожмина Татьяна Александровна**, доктор биол. наук, зав. лабораторией селекционных технологий, Научно-исследовательский институт льна – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: vniil.sekretar@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8204-7341**, e-mail: len_rozhmina@mail.ru

Андреева Ирина Александровна, аспирант, Научно-исследовательский институт льна – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: vniil.sekretar@mail.ru

Information about the authors

✉ **Tatiana A. Rozhmina**, DSc in Biology, Head of the Laboratory of Breeding Technologies, Flax Research Institute – Separate division of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federation, 172002, e-mail: vniil.sekretar@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8204-7341**, e-mail: len_rozhmina@mail.ru

Irina A. Andreeva, post graduate, Flax Research Institute – Separate division of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federation, 172002, e-mail: vniil.sekretar@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.818–830
УДК 631.527:633.863.2

(cc) BY

Изучение гибридов F_1 *Carthamus tinctorius* L. в условиях Северного Прикаспия

© 2024. Н. А. Зайцева✉, С. В. Зайцев
ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», с. Соленое Займище, Российская Федерация

Сафлор красильный (Carthamus tinctorius* L.) – масличная культура, отличающаяся высокой засухоустойчивостью. В условиях возрастающей аридизации климата в России, особенно в южных регионах, у сельхозтоваропроизводителей появляется интерес к этой культуре. Наиболее актуальным становится создание новых сортов, способных давать стабильные урожаи даже в острозасушливых регионах. Опыты закладывали в 2022-2023 гг. в условиях Астраханской области. Изучали гибриды F_1 сафлора красильного, которые были получены от скрещивания семи перспективных сортообразцов, отобранных из коллекции ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР), и двух сортов, созданных на базе Прикаспийского аграрного федерального научного центра. Предварительно на протяжении трех лет проводили самоопыление родительских пар с помощью изоляторов из нетканного материала, который пропускает воздух, но не пропускает насекомых и пыльцу. Скрещивание проводили в 2022 г. по методике Т. В. Леус, Е. В. Ведмедевой (2013) с помощью смыва пыльцы с последующим опылением в течение трех суток. В 2023 г. полученные при скрещивании семена гибридов F_1 были высеяны широкорядным способом на делянках площадью 2 м^2 для их хозяйственно-биологической оценки и сравнения с родителями. На основе полученных данных выделены перспективные гибриды (колючие), которые превысили родительские пары по урожайности и масличности: 1/22 (от скрещивания Oker x Астраханский 747) – на 0,18–0,20 т/га и 3-4 абс.%; 4/22 (Центр 70 x Астраханский 747) – на 0,11–0,29 т/га и 6 абс.% соответственно. Из неколючих гибридов выделились – 5/22 (Шахалли-260 x Астраханский 646), 9/22 (Цамбули x Ширкас), 7/22 (Цамбули x Астраханский 646), урожайность которых превышала родительские пары на 0,17–0,72 т/га, масличность – на 1–5 абс.%.

Ключевые слова: *сафлор красильный, гибридизация, селекция, биометрия, урожайность, масличность*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (тема № FNMW-2022-0010).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Зайцева Н. А., Зайцев С. В. Изучение гибридов F$_1$ *Carthamus tinctorius* L. в условиях Северного Прикаспия. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):818–830. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.818-830

Поступила: 24.06.2024 Принята к публикации: 16.09.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Research of *Carthamus tinctorius* L. F_1 hybrids in the conditions of the Northern Caspian region

© 2024. Nadezhda A. Zaitseva✉, Sergei V. Zaitsev
Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Solenoe Zajmishhe, Russian Federation

Safflower (Carthamus tinctorius L.) is an oilseed crop characterized by high drought tolerance. In conditions of increasing climate aridisation in Russia, especially in the southern regions, agricultural producers are becoming interested in this crop. It is especially important to develop new varieties capable of producing stable yields even in severely arid regions. Experiments were laid in 2022-2023 in the conditions of the Astrakhan region. They studied Carthamus tinctorius L. F1 hybrids which were obtained from crossing seven promising varieties selected from the collection of FRC N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) and two varieties developed at the Precaspian Agrarian Federal Scientific Centre. Preliminary self-pollination of parental pairs was carried out for three years using insulators made of non-woven material, which allows air to pass through, but does not allow insects and pollen to pass through. Crossing was carried out in 2022 according to the method of T. V. Leus and E. V. Vedmedeva (2013) using pollen flushing followed by pollination for three days. In 2023, seeds of F1 hybrids obtained by crossing were sown in a wide-row method on 2 m^2 plots for their economic and biological evaluation and comparison with parents. On the basis of the obtained data, promising hybrids (prickly) were identified, which exceeded the parental pairs in yield and oil content: 1/22 (from crossing Oker x Astrakhansky 747) – by 0.18–0.20 t/ha and 3-4 abs.%; 4/22 ('Centre 70' x 'Astrakhansky 747') – by 0.11–0.29 t/ha and 6 abs.%, respectively. Among non-spiny hybrids, the following hybrids stood out: 5/22 ('Shahalli-260' x 'Astrakhansky 646'), 9/22 ('Tsambuli' x 'Shirkas'), 7/22 ('Tsambuli' x 'Astrakhansky 646'), yields of which exceeded parental pairs by 0.17–0.72 t/ha, oil content – by 1–5 abs.%.

Key words: *Carthamus tinctorius L., hybridization, breeding, biometrics, yield, oil content*

Acknowledgments: the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education and of the Russian Federation within the state assignment of the Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (theme No. FNMW-2022-0010).

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

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

***For citations*:** Zaitseva N. A., Zaitsev S. V. Research of *Carthamus tinctorius* L. F_1 hybrids in the conditions of the Northern Caspian region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):818–830. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.818-830

Received: 24.06.2024 Accepted for publication: 16.09.2024 Published online: 30.10.2024

Сафлор красильный – это культура, которая по своим адаптационным возможностям в условиях резко континентального климата Северного Прикаспия не имеет себе равных [1]. При наблюдаемой в последние годы аридизации климата возникает необходимость возделывания культур, которые могут максимально адаптироваться и адекватно реагировать на меняющиеся погодные условия [2]. Такой перспективной культурой в условиях Астраханской области является сафлор красильный, который с помощью развитой корневой системы способен извлекать воду из глубоких слоев почвы, а благодаря структуре вегетативной массы экономно ее расходовать. Требования к почвам у данной культуры тоже невелики, она может приспособиться практически к любым почвенным условиям, даже к засолению [3]. Сафлор может стать основной масличной культурой для Астраханского региона, так как наиболее традиционные (подсолнечник, рапс и др.) из-за сложных почвенно-климатических условий не произрастают на данной территории.

Н. И. Вавиловым (1987) было установлено, что сафлор красильный возник в третьем очаге происхождения культурных растений – в Индийском, Среднеазиатском и Абиссинском [4]. С глубокой древности сафлор выращивали для получения из цветков красителей, а затем стали использовать масло его семян в пищу. В современном мире сафлор выращивают только для получения масла, которое активно используется в различных сферах производства стран Запада, Индии, США и ряде других.

Масло сафлора по жирно-кислотному составу не уступает подсолнечному и высоко ценится из-за содержания большого количества полиненасыщенных жирных кислот. Оба типа сафлорового масла (мононенасыщенное и полиненасыщенное) считаются высококачественным пищевым маслом. На рынке масел преобладают сорта с высоким содержанием олеиновой кислоты и низким – насыщенных жирных кислот. Высокоолеиновое сафлоровое масло содержит меньше насыщенных и больше мононенасыщенных жирных кислот, чем оливковое масло [5, 6].

Благодаря высокому содержанию линолевой кислоты, нейтральному вкусу и приятному аромату, а также высокой стабильности масла при повышенной температуре по сравнению с другими масличными делает сафлор весьма перспективным в пищевой промышленности [7]. Вследствие термостабильности его активно используют как кулинарное масло для жарки чипсов, картошки фри и др., а также при приготовлении детского питания. Высоколинолевое сафлоровое масло также используется в здоровом питании людей в качестве пищевой добавки для снижения уровня жира, плохого холестерина, укрепления здоровья мышц и сердца [8, 9].

В косметических производствах оно используется в качестве ингредиента в мыле, солнцезащитных кремах, лосьонах, средствах и косметике для увлажнения кожи, уменьшения воспаления и ускорения заживления [10, 11].

В лакокрасочной промышленности сафлоровое масло ценится и используется как сушильный агент в красках и лаках, так как оно не желтеет.

Сафлоровый шрот (содержание белка – 24…36 %) можно использовать в качестве белковой добавки в кормах для скота и птицы. Добавление в рацион мелкого рогатого и крупного рогатого скота сафлорового масла способно улучшать состояние тела животных и их продуктивность, повышать выход молока и его качество у лактирующих молочных коров. Зеленую массу сафлора также можно использовать на корм скоту при срезании в фазу «цветение» [12].

По данным ФАО, под посевами сафлора в мире занято порядка 850,4 тыс. га, валовые сборы составляют 631,1 тыс. тонн, а урожайность – 7,4 ц/га. В мире сафлор выращивают небольшое число стран. Первое место по площадям и валовым сборам принадлежит Казахстану, второе – России. Валовой сбор сафлора в Казахстане составляет 36,0 % (от общего объема сборов), в России – 24,0 %. Площади возделывания сафлора в России по сравнению с другими культурами незначительны, порядка 240 тыс. га, и сосредоточены в основном в Волгоградской, Ростовской и Саратовской областях[1]. В Астраханской области, несмотря на более стабильные урожаи по сравнению

[1]Мировой рынок сафлора: производство и импорт по странам мира. Агровестник. [Электронный ресурс]. URL: https://agrovesti.net/lib/industries/oilseeds/mirovoj-rynok-saflora-proizvodstvo-i-import-po-stranam-mira.html (дата обращения: 17.06.2024.)

с яровыми зерновыми культурами, сафлор только начинает набирать популярность. В 2023 году сафлор возделывался в регионе на площади порядка 500 га, в дальнейшем планируется увеличивать посевы для рекультивации неиспользуемых земель[2].

Создание высокопродуктивных, наиболее адаптированных к условиям произрастания сортов с высоким содержанием масла, дающих стабильные урожаи, является в последние годы наиболее актуальным в селекции сафлора [13, 14]. Новые сорта с различными хозяйственно ценными и биологическими свойствами, которые будут максимально адаптированы к острозасушливым условиям регионов с часто случающимися засухами, такими как Астраханская область, позволят увеличить производство высококачественных маслосемян сафлора и снизить себестоимость продукции.

Цель исследования – оценить по ряду биометрических и хозяйственно ценных признаков гибриды сафлора красильного, полученные при скрещивании перспективных образцов в почвенно-климатических условиях Северного Прикаспия.

Научная новизна – впервые в аридных условиях Северного Прикаспия проводится скрещивание перспективных высокопродуктивных, адаптированных сортообразцов сафлора красильного и отбор лучших полученных комбинаций гибридов по хозяйственно ценным признакам.

Материал и методы. Полевые исследования выполнены в 2022…2023 гг. на базе ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр» (ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»), расположенного в Черноярском районе Астраханской области.

По климатическим условиям зона характеризуется недостаточным увлажнением со среднегодовым количеством осадков менее 300 мм. Почвы экспериментального участка светло-каштановые с очень низким содержанием гумуса (по Тюрину) – от 0,91 % в слое 0–20 см до 0,84 % в слое 20–40 см. Почвы бедны азотом: содержание нитратного азота не превышает 3,5…5,1 мг/кг (ГОСТ 26951-86[3]), аммонийного – от 4,85 до 3,80 мг/кг в более нижних слоях (ГОСТ 26489-85[4]). Подвижного фосфора (по Кирсанову) также недостаточно: от 28,5 мг/кг (0–20 см) до 23,4 мг/кг (20–40 см). В почве много подвижных соединений калия (по Кирсанову), которые достигают в верхних слоях 275,0 мг/кг, в нижних – 238,2 мг/кг.

Материалом для изучения послужили гибриды F_1 сафлора красильного, полученные путем скрещивания перспективных сортообразцов. Предварительно в течение трех лет перспективные родительские формы были подвергнуты самоопылению с помощью изоляторов из нетканного материала, который защищал цветки от насекомых.

В качестве родительских пар для скрещивания нами по результатам многолетних исследований были отобраны из коллекции ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР) 7 образцов сафлора различного эколого-географического происхождения с разными морфологическими признаками и 2 районированных сорта, выведенных в ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» – Астраханский 747 (с шипами) и Астраханский 646 (без шипов). Выбранные образцы выделены в результате многолетнего изучения по основным хозяйственно ценным признакам (урожайность, масличность и засухоустойчивость). Скрещивание проводили в 2022 году по двум группам растений: 1-я группа – имеющая шипы (колючие образцы); 2-я – не имеющая шипы (неколючие образцы). Скрещивание проводили методом смыва пыльцы по Т. В. Леус, Е. В. Ведмедевой (2013) [15]. Для более успешного результата цветки опыляли три дня подряд.

В 2023 году полученные при скрещивании семена были высеяны для изучения. Посев в питомнике проводили вручную, на делянках площадью 2 м^2 широкорядным способом с междурядьями 0,3 м, расстояние между растениями в ряду 0,1 м. Вместе с гибридами F_1 высевали и родительские пары для сравнения по хозяйственно ценным признакам. Закладку полевого опыта, наблюдения и учеты проводили согласно общепринятым методикам[5]. Содержание масла в семенах определяли с помощью ЯМР-анализатора АМВ-1006 М. Для обработки данных использовали вариационно-статистический метод и метод корреляционного анализа с использованием программ Microsoft Excel и STATISTICA 8.0.

[2]Поля Астраханской области засеют сафлором [Электронный ресурс].
URL: https://iz.ru/1530065/2023-06-16/polia-astrakhanskoi-oblasti-zaseiut-saflorom (дата обращения: 23.08.2024.)
[3]ГОСТ 26951-86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. М.: Изд-во стандартов, 1986. 10 с.
URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/d20/4294827592.pdf
[4]ГОСТ 26489-85. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1985. 5 с.
URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/09d/4294827940.pdf
[5]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследования. 5-е изд., перераб. и доп. стер. изд. М.: Альянс, 2014. 351 с.; Классификатор вида *Carthamus tinctorius* L. (Сафлор красильный). Л., 1985. 15 с.

Результаты и их обсуждение. Гибридизация сафлора – сложная и трудоемкая работа, при этом процент завязываемости семян очень низкий [16]. В отечественной и зарубежной литературе встречается немного данных по скрещиванию сортов сафлора в полевых условиях. Одним из успешных примеров гибридизации сафлора является сорт Лидер, полученный Е. В. Картамышевой с соавторами (2019) в результате гибридизации [17].

Б. Арслан и Э. Калпан (B. Arslan и E. Culpan, 2020) проводили опыты по улучшению сорта сафлора путем скрещивания сорта и генотипа, в результате которого были получены перспективные образцы с повышенными относительно стандарта содержанием масла и урожайностью [18].

Получение исходного материала для селекции посредством скрещивания перспективных образцов также практиковалось учеными из Казахстана и Украины [15, 19].

В результате проведенной в 2022 году гибридизации перспективных сортообразцов сафлора красильного удалось получить семена только у 9 комбинаций (табл. 1).

Таблица 1 – **Результаты гибридизации перспективных сортообразцов сафлора красильного, шт. (2022 г.) /**
Table 1 – **The results of hybridization of promising *Carthamus tinctorius* L. varieties, pcs. (2022)**

Комбинации родительских пар / Combinations of parental pairs	*Количество опыляемых корзинок / Number of pollinated heads*	*Количество завязавшихся семян / Number of wilted seeds*	*Среднее количество семян в корзинке / Average number of seeds in a head*
Колючие / Prickly			
1. Oker x Астраханский 747 / ‘Oker’ x ‘Astrakhansky 747’	3	54	18,0
2. Астраханский 747 x Талан / ‘Astrakhansky 747’ x ‘Talan’	5	78	15,6
3. Талан x Астраханский 747 / ‘Talan’ x ‘Astrakhansky 747’	3	59	19,7
4. Центр 70 x Астраханский 747 / ‘Centre 70’ x ‘Astrakhansky 747’	2	22	11,0
Неколючие / Non-Spiky			
5. Шахалли-260 x Астраханский 646 / ‘Shahalli-260’ x ‘Astrakhansky 646’	3	62	20,7
6. Астраханский 646 x Цамбули / ‘Astrakhansky 646’ x ‘Tsambuli’	2	29	14,6
7. Цамбули x Астраханский 646 / ‘Tsambuli’ x ‘Astrakhansky 646’	5	70	14,0
8. Ширкас x Цамбули / ‘Shirkas’ x ‘Tsambouli’	2	32	16,0
9. Цамбули x Ширкас / ‘Tsambouli’ x ‘Shirkas’	2	38	19,0

Полученные при скрещивании семена были высеяны в 2023 году 29 марта. Первые всходы отмечены 14…20 апреля, полные – 25…29 апреля, к 30 июля все изучаемые образцы полностью созрели, уборку провели 1 августа. Даты наступления фаз роста и развития у большинства гибридов зафиксированы позже на 3…4 суток, чем у родительских пар. Периоды роста и развития между родителями и гибридами отличались на 1…5 суток, так, период от посева до всходов у родительских пар составил 27…32 суток, у гибридов – 28…32 суток (табл. 2). Вариабельность продолжительности периодов была стабильно низкой (CV < 10 %). Вегетационный период в силу складывающихся погодных условий продлился у всех образцов и составил в среднем 104…110 суток.

Оценка биометрических показателей колючих гибридов F_1 показала, что они не отличались по высоте растений от родительских пар (табл. 3) (CV = 8,2 %). При этом расстояние до первой ветви у гибридных растений было меньше, чем у родительских пар на 2…27 см (CV = 20,7 %). Минимальные значения данного признака были отмечены у гибридов 3/22 (Талан x Астраханский 747) и 4/22 (Центр 70 x Астраханский 747) – 0,21…0,27 м.

Гибриды 3/22 (Талан x Астраханский 747) и 4/22 (Центр 70 x Астраханский 747) превосходили родителей и по количеству продуктивных ветвей на одном растении в среднем на 1,0…3,0 шт.

Таблица 2 – **Продолжительность фенологических периодов у сортов и гибридов F_1 сафлора красильного, сутки (2023 г.) /**
Table 2 – **Duration of phenological periods in F1 varieties and hybrids of *Carthamus tinctorius* L., day (2023)**

	Наименование / Name	*Посев-всходы / Sowing-Sprouting*	*Всходы-стеблевание / Sprouting-stemming*	*Всходы-бутонизация / Sprouting-budding*	*Всходы-цветение / Sprouting-flowering*	*Всходы-плодо-образование / Sprouting-fruit formation*	*Всходы-созревание / Sprouting-maturation*	*Стеблевание-созревание / Stemming-maturing*	*Цветение-созревание / Flowering-ripening*
Родители / Parents	Астраханский 747 / ‘Astrakhansky 747’	28	29	45	57	77	97	69	41
	‘Oker’	28	29	45	57	77	97	69	41
	Талан / ‘Talan’	27	29	46	58	78	98	70	41
	Центр 70 / ‘Centre 70’	27	29	46	58	78	98	70	41
	Астраханский 646 / ‘Astrakhansky 646’	28	30	45	57	77	97	68	41
	Шахалли-260 / ‘Shahalli-260’	28	30	45	57	77	97	68	41
	Цамбули / ‘Tsambouli’	32	29	44	56	76	93	64	38
	Ширкас / ‘Shirkas’	28	30	45	57	77	97	68	41
	Среднее / Average	**28,3**	**29,4**	**45,1**	**57,1**	**77,1**	**96,8**	**68,3**	**40,6**
	SD	**1,6**	**0,5**	**0,6**	**0,6**	**0,6**	**1,6**	**1,9**	**1,1**
	CV, %	**5,6**	**1,8**	**1,4**	**1,1**	**0,8**	**1,6**	**2,8**	**2,6**
Гибриды / Hybrids	1/22 (‘Oker’ x ‘Astrakhansky 747’)	32	29	44	56	76	93	64	38
	2/22 (‘Astrakhansky 747’ x ‘Talan’)	28	29	45	57	77	97	69	41
	3/22 (‘Talan’ x ‘Astrakhansky 747’)	32	29	44	56	76	93	64	38
	4/22 (‘Centre 70’ x ‘Astrakhansky 747’)	32	29	44	56	76	93	64	38
	5/22 (‘Shahalli-260’ x ‘Astrakhansky 646’)	32	29	44	56	76	93	64	38
	6/22 (‘Astrakhansky 646’ x ‘Tsambouli’)	32	29	44	56	76	93	64	38
	7/22 (‘Tsambuli’ x ‘Astrakhansky 646’)	32	29	44	56	76	93	64	38
	8/22 (‘Shirkas’ x ‘Tsambouli’)	32	29	44	56	76	93	64	38
	9/22 (‘Tsambouli’ x ‘Shirkas’)	32	28	44	56	76	93	64	38
	Среднее / Average	**31,6**	**28,9**	**44,1**	**56,1**	**76,1**	**93,4**	**64,6**	**38,3**
	SD	**1,3**	**0,3**	**0,3**	**0,3**	**0,3**	**1,3**	**1,7**	**1,0**
	CV, %	**4,2**	**1,2**	**0,8**	**0,6**	**0,4**	**1,4**	**2,6**	**2,6**

Таблица 3 – **Биометрические показатели и семенная продуктивность родительских пар и гибридов F1 сафлора красильного (колючие формы), (2023 г.) /**
Table 3 – **Biometric parameters and seed productivity of parental pairs and F1 hybrids of *Carthamus tinctorius* L. (spiny forms) (2023)**

Показатель / Indicator	*Родители / Parents*						*Гибриды F_1 / Hybrids F_1*						
	Астраханский 747 / 'Astrakhansky 747'	*'Oker'*	*Таган / 'Talan'*	*Пемп 70 / 'Centre 70'*	*среднее / average*	*SD*	*CV, %*	*1/22*	*2/22*	*3/22*	*4/22*	*среднее / average*	*SD*	*CV, %*
Опушенность листьев / Leaf pubescence	+	+	+	+				+	+	+	+			
Высота растений, м / Plant height, m	0,64	0,76	0,75	0,86	***0,80***	***0,1***	***12,0***	0,73	0,75	0,71	0,62	***0,70***	***0,1***	***8,2***
Кол-во продуктивных ветвей, шт. / Number of productive branches, pcs.	4	6	5	5	***5,0***	***0,8***	***16,3***	6	5	7	6	***6,0***	***0,8***	***13,6***
Расстояние до первой ветви, м / Distance to the first branch, m	0,28	0,37	0,48	0,42	***0,40***	***0,1***	***21,8***	0,30	0,35	0,21	0,27	***0,30***	***0,1***	***20,7***
Кол-во корзинок на 1 раст., шт. / Number of heads per 1 plant, pcs.	4	6	5	5	***5,0***	***0,8***	***16,3***	8	5	10	17	***10,0***	***5,1***	***51,0***
Диаметр корзинок, см / Diameter of heads , cm	2,4	1,8	2,3	1,8	***2,1***	***0,3***	***15,4***	2,0	2,2	2,3	1,6	***2,0***	***0,3***	***15,3***
Кол-во выполненных семян в 1 корзинке, шт. / Number of executed seeds in 1 head, pcs.	14	21	26	8	***17,3***	***7,9***	***45,7***	20	18	34	13	***21,3***	***9,0***	***42,3***
Масса семян с 1 корзинки, г / Seed weight per 1 head, g	0,84	0,73	0,87	0,29	***0,70***	***0,3***	***39,3***	0,73	0,62	1,05	0,63	***0,80***	***0,2***	***26,6***
Кол-во семян с 1 раст., шт. / Number of seeds from 1 plant, pcs.	46	119	128	38	***82,8***	***47,3***	***57,2***	150	78	344	210	***195,5***	***112,8***	***57,7***
Масса семян с 1 раст., г / Seed weight per 1 plant, g	2,81	4,36	4,05	1,44	***3,20***	***1,3***	***42,0***	5,56	2,7	10,52	10,09	***7,2***	***3,8***	***52,0***
Масса семян с 1 м^2, г / Seed weight per 1 m^2, g	37,5	36,0	29,0	19,5	***30,5***	***8,2***	***26,9***	55,7	20,0	36,7	49,0	***40,4***	***15,7***	***38,9***
Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g	51,2	35,2	29,9	32,9	***37,3***	***9,5***	***25,5***	37,4	34,4	26,5	48,5	***36,7***	***9,1***	***24,8***
Урожайность, т/га / Yield, tonnes/ha	0,38	0,36	0,29	0,20	***0,30***	***0,1***	***26,5***	0,56	0,20	0,37	0,49	***0,40***	***0,2***	***38,9***
Масличность, % / Oil content, %	28,5	30,1	27,7	21,4	***26,9***	***3,8***	***14,2***	32,5	25,0	33,4	28,0	***29,7***	***3,9***	***13,2***

Таблица 4 – **Биометрические показатели и семенная продуктивность родительских пар (неколючие формы) и гибридов F_1 сафлора красильного (2023 г.) /**
Table 4 – **Biometric parameters and seed production of parental pairs (non-spiny forms) and F1 hybrids of *Carthamus tinctorius* L. (2023)**

Показатель / *Indicator*	*Родители / Parents*						*Гибриды F_1 / Hybrids F_1*											
	Астраханский 646 / 'Astrakhansky 646'	*Шахалли-260 / 'Shahalli-260'*	*Ламбули / 'Tsamboulit'*	*Шаркас / 'Sharkas'*	*среднее / average*	*SD*	*CV, %*	*5/22*		*6/22*		*7/22*	*8/22*		*9/22*	*среднее / average*	*SD*	*CV, %*
								-	+	+	-	-	+	-	-			
Опушенность листьев / Leaf pubescence	-	-	-	-											-			
Высота растений, м / Plant height, m	0,64	0,80	0,81	0,69	***0,70***	***0,1***	***11,4***	0,78	0,66	0,76	0,74	0,79	0,65	0,76	0,64	***0,70***	***0,1***	***8,6***
Кол-во продуктивных ветвей, шт. / Number of productive branches, pcs.	6	5	6	5	***5,5***	***0,6***	***10,5***	8	7	7	6	13	10	11	6	***8,5***	***2,6***	***30,2***
Расстояние до первой ветви, м / Distance to the first branch, m	0,38	0,50	0,50	0,44	***0,50***	***0,1***	***12,6***	0,36	0,36	0,43	0,42	0,18	0,22	0,18	0,27	***0,30***	***0,1***	***34,1***
Кол-во корзинок на 1 раст., шт. / Number of heads per 1 plant, pcs.	6	5	8	6	***6,3***	***1,3***	***20,1***	10	8	7	10	21	26	16	9	***13,4***	***6,9***	***51,8***
Диаметр корзинок, см / Diameter of heads, cm	2,1	2,0	2,1	1,9	***2,0***	***0,1***	***4,7***	2,1	2,0	2,5	2,0	2,5	1,7	1,7	2,0	***2,1***	***0,3***	***14,9***
Кол-во выполненных семян в 1 корзинке, шт. / Number of executed seeds in 1 head, pcs.	23	16	19	18	***19,0***	***2,9***	***15,5***	25	25	13	20	23	17	12	19	***19,3***	***5,0***	***26,2***
Масса семян с 1 корзинки, г / Seed weight per 1 head, g	1,24	0,49	0,92	0,76	***0,90***	***0,3***	***36,8***	1,17	1,18	0,60	0,84	1,18	1,83	0,56	1,30	***1,10***	***0,4***	***38,2***
Кол-во семян с 1 раст., шт. / Number of seeds from 1 plant, pcs.	147	50	141	107	***111,3***	***44,5***	***40,0***	249	179	97	183	490	364	187	157	***238,3***	***128,2***	***53,8***
Масса семян с 1 раст., г / Seed weight per 1 plant, g	7,87	1,63	6,74	4,54	***5,20***	***2,7***	***52,9***	11,71	9,46	4,40	7,55	25,20	38,73	8,66	10,81	***14,60***	***11,5***	***79,3***
Масса семян с 1 м^2, г / Seed weight per 1 m^2, g	16,4	13,0	48,5	36,0	***28,5***	***16,8***	***58,9***	85,3	80,7	112,0	29,0	65,5	65,6	112,0	89,3	***79,9***	***27,2***	***34,0***
Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g	38,4	38,1	57,5	49,9	***46,0***	***9,4***	***20,5***	43,5	50,7	54,1	44,6	51,8	44,4	52,6	64,5	***50,8***	***6,9***	***13,6***
Урожайность, т/га / Yield, tonnes/ha	0,16	0,13	0,49	0,36	***0,30***	***0,2***	***59,9***	0,85	0,81	1,22	0,29	0,66	0,66	1,12	0,89	***0,80***	***0,3***	***35,7***
Масличность, % / Oil content, %	25,9	25,9	28,2	25,9	***26,5***	***1,2***	***4,3***	30,7	31,9	29,5	29,2	29,3	30,1	28,6	31,1	***30,1***	***1,1***	***3,7***

У гибридов на одном растении формировалось большее количество корзинок. Так, у гибрида 4/22 (Центр 70 х Астраханский 747) сформировалось 17 корзинок, в то время как у родителей Центр 70 и Астраханский 747 – 4…5 корзинок. У гибрида 3/22 (Талан х Астраханский 747) формировалось 10 корзинок, у гибрида 1/22 (Oker х Астраханский 747) – 8 корзинок, что на 5…6 и 2…4 шт. соответственно больше, чем у родителей.

По диаметру корзинок гибриды не превосходили родительские формы, а вариабельность данного признака составила 15,3 %.

По количеству выполненных семян в одной корзинке и их массе родительские формы превосходил только гибрид 3/22 (Талан х Астраханский 747) – 34 шт. и 1,05 г, у родителей данные показатели не превышали 26 и 14 шт. и 0,87 и 0,84 г соответственно. По количеству семян с одного растения и их массе все гибриды превосходили своих родителей, за исключением гибрида 2/22 (Астраханский 747 х Талан). Наибольшие показатели по данным признакам были отмечены у гибрида 3/22 (Талан х Астраханский 747) – 344 шт. и 10,52 г.

Наибольшей массой семян с 1 м^2 (55,7 и 49,0 г) и урожайностью (0,56 и 0,49 т/га) отличились гибриды 1/22 (Oker х Астраханский 747) и 4/22 (Центр 70 х Астраханский 747) соответственно, но при этом по признаку «масса 1000 семян» ни один гибрид не превзошёл сорт Астраханский 747.

У гибридов, полученных от неколючих родительских форм, наблюдали расщепление на колючие и неколючие. Колючие формы были получены у гибридов 5/22 (Шахалли-260 х Астраханский 646), 6/22 (Астраханский 646 х Цамбули) и 8/22 (Ширкас х Цамбули).

По высоте растений так же, как и у гибридов колючих форм, различия не наблюдались, вариабельность признака низкая – 8,6 % (табл. 4).

По признаку «количество продуктивных ветвей» все гибриды, за исключением 6/22 (Астраханский 646 х Цамбули), превышали показатели родительских пар от 1…2 до 5…7 шт/раст., максимальный показатель отмечен у гибрида 7/22 (Цамбули х Астраханский 646) – 13 шт. Минимальными значениями признака «расстояние до первой ветви» выделились гибриды 7/22 (Цамбули х Астраханский 646), 8/22 (Ширкас х Цамбули) колючей и неколючей формы, а также гибрид 9/22 (Цамбули х Ширкас).

По количеству корзинок все гибриды превосходили родительские пары, за исключением колючей формы 6/22 (Астраханский 646 х Цамбули). Максимальные показатели отмечены у колючей формы гибрида 8/22 (Ширкас х Цамбули) – 26,0 шт. и гибрида 7/22 (Цамбули х Астраханский 646) – 21,0 шт. По диаметру корзинок превосходили родительские пары только гибриды 7/22 (Цамбули х Астраханский 646) и колючая форма 6/22 (Астраханский 646 х Цамбули) – 2,5 см. Вариабельность данного признака низкая – 4,7 % у родительских форм, 14,9 % – у гибридов.

По количеству семян в корзинке выделился только гибрид 5/22 (Шахалли-260 х Астраханский 646) как колючей, так и неколючей форм – 25,0 шт.

Высокой массой семян с одной корзинки отличились гибриды 8/22 (Ширкас х Цамбули) (колючая форма) и 9/22 (Цамбули х Ширкас) – 1,83 и 1,30 г соответственно.

Количество семян с одного растения у всех гибридов было больше, чем у родителей, за исключением колючей формы гибрида 6/22 (Астраханский 646 х Цамбули). При этом максимальные значения отмечены у 7/22 (Цамбули х Астраханский 646) – 490 шт. Наибольшие показатели признака «масса семян с одного растения» получены у гибрида 8/22 (Ширкас х Цамбули) (колючая форма) – 38,73 г и у гибрида 7/22 (Цамбули х Астраханский 646) – 25,20 г.

По признаку «масса 1000 семян» выделились колючая (43,5 г) и неколючая (50,7 г) формы гибрида 5/22 (Шахалли-260 х Астраханский 646), что выше значений родительской пары на 5,1…12,6 г, а также гибрид 9/22 (Цамбули х Ширкас) – 64,5 г, что выше исходных родительских пар на 7,0…14,6 г (CV = 13,6 %).

Урожайность гибридов превосходила родительские пары, за исключением гибрида 6/22 (Астраханский 646 х Цамбули). Наибольшие показатели отмечены у колючей формы гибрида 6/22 (Астраханский 646 х Цамбули) – 1,22 т/га и неколючей формы гибрида 8/22 (Ширкас х Цамбули) – 1,12 т/га.

Признаки – «количество корзинок», «количество выполненных семян», «масса семян с одного растения», «масса семян с 1 м^2», «урожайность» – отличались высокой вариабельностью у обеих групп гибридов.

Анализ на масличность изучаемых образцов показал, что большинство гибридов превосходили родителей по данному признаку. У гибридов из группы, имеющей шипы, масличность составила от 25,0 до 33,4 % (CV = 13,2 %), у родителей она изменялась от 21,4 до 30,1 % (CV = 14,2 %).

Таблица 5 – **Результаты корреляционного анализа биометрических и семенных показателей родителей и гибридов F1 сафлора красильного (колючие формы) /**
Table 5 – **Results of correlation analysis of biometric and seed parameters of parents and F1 hybrids of *Carthamus tinctorius* L. (spiny forms)**

Показатель / Indicator	*Высота растений / Plant height,*	*Кол-во продуктивных ветвей / Number of productive branches*	*Расстояние до первой ветви / Distance to the first branch*	*Кол-во корзинок на 1 растении / Number of heads per 1 plant*	*Диаметр корзинок / Diameter of heads*	*Кол-во выполненных семян в 1 корзинке / Number of executed seeds in 1 head*	*Масса семян с 1 корзинки / Seed weight per 1 head*	*Кол-во семян с 1 растения / Number of seeds per1 plant*	*Масса семян с 1 растения / Seed weight per 1 plant*	*Масса семян с 1 м² / Seed weight per 1 m²*	*Масса 1000 семян / Weight of 1000 seeds*	*Урожайность / Yield*	*Масличность / Oil content*
Родители / Parents													
Высота растений / Plant height	1,00												
Кол-во продуктивных ветвей / Number of productive branches	0,54	1,00											
Расстояние до первой ветви / Distance to the first branch	0,67	0,43	1,00										
Кол-во корзинок на 1 растении / Number of heads per 1 plant	0,54	**1,00***	0,43	1,00									
Диаметр корзинок / Diameter of heads	-0,80	-0,77	-0,22	-0,77	1,00								
Кол-во выполненных семян в 1 корзинке / Number of executed seeds in 1 head	-0,29	0,36	0,40	0,36	0,32	1,00							
Масса семян с 1 корзинки / Seed weight per 1 head	-0,83	-0,17	-0,19	-0,17	0,73	0,78	1,00						
Кол-во семян с 1 растения / Number of seeds per1 plant	-0,04	0,63	0,50	0,63	0,01	**0,95***	0,58	1,00					
Масса семян с 1 растения / Seed weight per 1 plant	-0,39	0,48	0,13	0,48	0,18	0,93	0,79	0,92	1,00				
Масса семян с 1 м² / Seed weight per 1 m²	-0,87	-0,07	-0,64	-0,07	0,44	0,44	0,82	0,31	0,66	1,00			
Масса 1000 семян / Weight of 1000 seeds	-0,79	-0,69	-0,95	-0,69	0,51	-0,34	0,32	-0,54	-0,17	0,62	1,00		
Урожайность / Yield	-0,88	-0,10	-0,67	-0,10	0,44	0,42	0,81	0,28	0,64	**1,00***	0,65	1,00	
Масличность / Oil content	-0,73	0,17	-0,34	0,17	0,36	0,72	0,88	0,63	0,88	0,94	0,31	0,92	1,00
Гибриды F1 / F1 hybrids													
Высота растений / Plant height	1,00												
Кол-во продуктивных ветвей / Number of productive branches	-0,28	1,00											
Расстояние до первой ветви / Distance to the first branch	0,41	**-0,98***	1,00										
Кол-во корзинок на 1 растении / Number of heads per 1 plant	**-0,99***	0,40	-0,51	1,00									
Диаметр корзинок / Diameter of heads	0,84	0,13	-0,06	-0,80	1,00								
Кол-во выполненных семян в 1 корзинке / Number of executed seeds in 1 head	0,38	0,73	-0,67	-0,28	0,78	1,00							
Масса семян с 1 корзинки / Seed weight per 1 head	0,16	0,87	-0,83	-0,05	0,60	**0,97***	1,00						
Кол-во семян с 1 растения / of seeds from 1 plant	-0,36	**0,96***	**-0,99***	0,45	0,15	0,73	0,87	1,00					
Масса семян с 1 растения / Seed weight per 1 plant	-0,73	0,85	-0,92	0,80	-0,30	0,35	0,56	0,90	1,00				
Масса семян с 1 м² / Seed weight per 1 m²	-0,48	0,43	-0,34	0,55	-0,59	-0,17	0,02	0,24	0,45	1,00			
Масса 1000 семян / Weight of 1000 seeds	-0,73	-0,35	0,28	0,67	**-0,97***	-0,90	-0,76	-0,36	0,09	0,46	1,00		
Урожайность / Yield	-0,47	0,44	-0,35	0,54	-0,58	-0,16	0,03	0,25	0,45	**1,00***	0,45	1,00	
Масличность / Oil content	0,03	0,87	-0,75	0,10	0,23	0,69	0,79	0,71	0,54	0,60	-0,42	0,60	1,00

* Корреляция значима при P ≤0,05 / * Correlation is significant at P ≤0.05

Таблица 6 – **Результаты корреляционного анализа биометрических и семенных показателей родителей и гибридов F_1 сафлора красильного (неколючие формы) /**
Table 6 – **Results of correlation analysis of biometric and seed parameters of parents and F1 hybrids of *Carthamus tinctorius* L. (non-spiny forms) /**

Показатель / Indicator	*Высота растений / Plant height,*	*Кол-во продуктивных ветвей / Number of productive branches*	*Расстояние до первой ветви / Distance to the first branch*	*Кол-во корзинок на 1 растении / Number of heads per 1 plant*	*Диаметр корзинок / Diameter of heads*	*Кол-во выполненных семян в 1 корзинке / Number of executed seeds in 1 head*	*Масса семян с 1 корзинки / Seed weight per 1 head*	*Кол-во семян с 1 растения / Number of seeds per1 plant*	*Масса семян с 1 растения / Seed weight per 1 plant*	*Масса семян с 1 м² / Seed weight per 1 m²*	*Масса 1000 семян / Weight of 1000 seeds*	*Урожайность / Yield*	*Масличность / Oil content*
Родители / Parents													
Высота растений / Plant height	1,00												
Кол-во продуктивных ветвей / Number of productive branches	-0,14	1,00											
Расстояние до первой ветви / Distance to the first branch	**0,98***	-0,30	1,00										
Кол-во корзинок на 1 растении / Number of heads per 1 plant	0,27	0,69	0,21	1,00									
Диаметр корзинок / Diameter of heads	0,10	0,90	-0,09	0,48	1,00								
Кол-во выполненных семян в 1 корзинке / Number of executed seeds in 1 head	-0,72	0,78	-0,83	0,27	0,59	1,00							
Масса семян с 1 корзинки / Seed weight per 1 head	-0,65	0,84	-0,76	0,42	0,61	**0,99***	1,00						
Кол-во семян с 1 растения / Number of seeds per1 plant	-0,44	0,85	-0,53	0,72	0,55	0,84	0,92	1,00					
Масса семян с 1 растения / Seed weight per 1 plant	-0,49	0,89	-0,59	0,64	0,62	0,91	**0,96***	**0,99***	1,00				
Масса семян с 1 м² / Seed weight per 1 m²	0,31	0,27	0,35	0,88	0,01	-0,06	0,10	0,48	0,35	1,00			
Масса 1000 семян / Weight of 1000 seeds	0,38	0,24	0,41	0,87	0,00	-0,13	0,04	0,43	0,30	**1,00***	1,00		
Урожайность / Yield	0,32	0,27	0,36	0,88	0,01	-0,07	0,09	0,47	0,35	**1,00***	**1,00***	1,00	
Масличность / Oil content	0,60	0,58	0,52	0,93	0,52	0,00	0,14	0,45	0,37	0,80	0,81	0,80	1,00
Гибриды F_1 / F_1 hybrids													
Высота растений / Plant height	1,00												
Кол-во продуктивных ветвей / Number of productive branches	0,41	1,00											
Расстояние до первой ветви / Distance to the first branch	0,05	**-0,81***	1,00										
Кол-во корзинок на 1 растении / Number of heads per 1 plant	-0,03	**0,79***	**-0,77***	1,00									
Диаметр корзинок / Diameter of heads	0,52	0,05	0,31	-0,29	1,00								
Кол-во выполненных семян в 1 корзинке / Number of executed seeds in 1 head	-0,04	-0,09	0,16	-0,13	0,20	1,00							
Масса семян с 1 корзинки / Seed weight per 1 head	-0,60	0,11	-0,32	0,55	-0,28	0,43	1,00						
Кол-во семян с 1 растения / of seeds from 1 plant	0,19	**0,80***	-0,64	**0,82***	0,12	0,36	0,55	1,00					
Масса семян с 1 растения / Seed weight per 1 plant	-0,26	0,58	-0,60	**0,92***	-0,22	0,10	**0,81***	**0,81***	1,00				
Масса семян с 1 м² / Seed weight per 1 m²	0,09	0,09	-0,14	-0,23	0,07	-0,48	-0,37	-0,39	-0,32	1,00			
Масса 1000 семян / Weight of 1000 seeds	-0,31	-0,17	-0,20	-0,31	0,19	-0,27	-0,17	-0,31	-0,31	0,49	1,00		
Урожайность / Yield	0,11	0,07	-0,08	-0,25	0,14	-0,51	-0,40	-0,41	-0,34	**0,99***	0,48	1,00	
Масличность / Oil content	-0,35	-0,44	0,25	-0,30	-0,08	0,68	0,53	-0,06	0,02	-0,07	-0,04	-0,11	1,00

* Корреляция значима при $P \leq 0.05$ / * Correlation is significant at $P \leq 0.05$

У гибридов, полученных от скрещивания неколючих образцов, масличность была ниже, чем у колючих и колебалась от 28,6 до 31,9 %, при этом вариабельность признака у данной группы не превышала 3,7 %. У родительских пар данной группы масличность составила 21,4…30,1 % (CV = 4,3 %).

Проведенный корреляционный анализ значений признаков родителей и полученных от их скрещивания гибридов в группе колючих форм показал, что значимые на 5%-ом уровне корреляции у родителей отмечены между признаками «количество продуктивных ветвей» и «количество корзинок на одном растении» (r = 1,0), «количество выполненных семян в одной корзинке» и «количество семян с одного растения» (r = 0,95), «масса семян с 1 м^2» и «урожайность» (r = 1,0) (табл. 5). Все взаимосвязи положительные и сильные. У гибридов значимые положительные связи выявлены между признаками: «количество продуктивных ветвей» и «количество семян с одного растения», «количество выполненных семян в одной корзинке» и «масса семян в одной корзинке», «масса семян с 1 м^2» и «урожайность» (r = 0,96…1,0). У гибридов отмечались и значимые отрицательные связи – между показателями «высота растений» и «количество корзинок на одном растении» (r = -0,99), «количество продуктивных ветвей» и «расстояние до первой ветви» (r = -0,98), «расстояние до первой ветви» и «количество семян с одного растения» (r = -0,99), «диаметр корзинок» и «масса 1000 семян (r = -0,97).

В группе неколючих форм значимые на 5%-ом уровне корреляции у родителей отмечались между показателями «высота растений» и «расстояние до первой ветви» (r = 0,98), «количество выполненных семян в одной корзинке» и «масса семян с одной корзинки» (r = 0,99), «масса семян с одной корзинки» и «масса семян с одного растения» (r = 0,96), «количество семян с одного растения» и «масса семян с одного растения» (r = 0,99), «масса семян с 1 м^2», «масса 1000 семян и «урожайность» (r = 1,0) (табл. 6).

У гибридов неколючей формы корреляционный анализ показал значимые на 5%-ом уровне положительные связи между показателями «количество продуктивных ветвей» и «количество семян с одного растения» (r = 0,80), «количество корзинок на одном растении» и «количество и масса семян с одного растения» (r = 0,82…0,92), «масса семян с одной корзинки» и «масса семян с одного растения» (r = 0,81), «количество семян с одного растения» и «масса семян с одного растения» (r = 0,81), «масса семян с 1 м^2» и «урожайность (r = 0,99), также были отмечены и значимые отрицательные корреляционные связи между признаками «количество продуктивных ветвей» и «расстояние до первой ветви» (r = -0,81), «расстояние до первой ветви» и «количество корзинок на одном растении» (r = -0,77).

Выводы. Наиболее желательными при селекции сафлора красильного являются сорта, имеющие высокую урожайность и масличность, дружное созревание, не осыпающиеся при механизированной уборке и ряд других хозяйственно ценных признаков. В условиях Астраханской области важную роль играет адаптивность растений к сложным почвенно-климатическим условиям.

Полученные экспериментальные данные 2023 года по изучению гибридов F_1 сафлора красильного позволили выделить из колючих форм по урожайности (0,49…1,22 т/га) и масличности (28,0…32,5 %) гибриды 1/22 (Oker x Астраханский 747), 4/22 (Центр 70 x Астраханский 747), 8/22 (Ширкас x Цамбули), 6/22 (Астраханский 646 x Цамбули) и 5/22 (Шахалли-260 x Астраханский 646); из неколючих форм (0,66…1,12 т/га и 28,6…31,1 % соответственно) – 5/22 (Шахалли-260 x Астраханский 646), 7/22 (Цамбули x Астраханский 646), 8/22 (Ширкас x Цамбули), 9/22 (Цамбули x Ширкас).

Проведенный корреляционный анализ полученных данных показал значимые на 5%-ом уровне прямые и обратные зависимости элементов продуктивности гибридных растений.

Список литературы

1. Зайцева Н. А., Климова И. И. Оценка сортообразцов сафлора на продуктивность и качество в аридных условиях Северного Прикаспия. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(5):785–791. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.785-791 EDN: ELFXNZ

2. Зайцева Н. А., Ячменёва Е. В., Климова И. И. Селекционная ценность сафлора красильного в аридных условиях Северного Прикаспия. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022;17(4):466–472. DOI: https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-4-466-472 EDN: UTHUVI

3. Зайцев С. В., Морозов Д. Е. Оценка на засухоустойчивость перспективных сортообразцов сафлора красильного. Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2023;58(4):51–55. DOI: https://doi.org/10.32935/2221-7312-2023-58-4-51-55 EDN: EWHKQF

4. Вавилов Н. И. Происхождение и география культурных растений. Л.: Наука, 1987. С. 303, 307, 314.

5. Зубков В. В., Полушкин П. В., Прахова Т. Я., Терентьев О. В. Возделывание перспективных масличных культур озимого рыжика и сафлора красильного: практические рекомендации. Самара, 2012. 36 с.

6. Прахова Т. Я., Кшникаткина А. Н., Щанин А. А. Урожайные свойства и адаптивность сортов сафлора в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Нива Поволжья. 2020;2(55):46–51. DOI: https://doi.org/10.36461/NP.2020.2.55.008 EDN: ELSSIJ

7. Зубков В. В., Милёхин А. В., Куркин В. А., Харисова А. В., Платонов И. А., Павлова Л. В. Перспективы использования масла семян сафлора красильного в пищевой и фармацевтической промышленности. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014;16(5-3):1135–1139. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23274427 EDN: TPIEGR

8. Jabeen N., Ahmad R. The activity of antioxidant enzymes in response to salt stress in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings raised from seed treated with chitosan. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2013;93(7):1699–1705. DOI: https://doi.org/10.1002/jsfa.5953

9. Zhou X., Tang L., Xu Y., Zhou G., Wang Z. Towards a better understanding of medicinal uses of *Carthamus tinctorius* L. in traditional Chinese medicine: a phytochemical and pharmacological review. Journal of Ethnopharmacology. 2014;151(1):27–43. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.10.050

10. Yang J., Cui Y. Research on traditional dye safflower cake and its production technology. Journal of Silk. 2017;54:73–80. DOI: https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-7003.2017.12.013

11. Харисова А. В. Перспективы использования сафлора красильного в медицине и фармации. Фундаментальные исследования. 2013;(10-1):154–157. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20192219 EDN: QZWNMB

12. Bergman J., Kandel H. Safflower Production. A870. North Dakota State University Fargo, North Dakota, 2019. URL: https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/2022-07/a870.pdf

13. Pooran G., Somayeh K. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Breeding. In book: Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops. 2019;6:537–575. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23265-8_14

14. Абаев С. С., Гацке Л. Н., Мейірман Ғ. Т., Ержанова С. Т., Каскабаев Н. Б., Медеубеков Д. К. Сортообразцы сафлора и их оценка в селекции на продуктивность и качество в условиях юго-востока Казахстана. Ізденістер, Нәтижелер. 2024;2-1(special):128–136. DOI: https://doi.org/10.37884/2-1-2024/547 EDN: IDPTSH

15. Леус Т. В., Ведмедева Е. В. Способ скрещивания сафлора красильного методом смыва пыльцы. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2013;(19):13–17. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35040961 EDN: XPLLYD

16. Deepayan R., Babita K. Safflower: In book: Hybrid seed production: principles and procedures. Jaya Publishing House, Delhi, India, 2023. pp.89–95.

17. Картамышева Е. В., Лучкина Т. Н., Збраилова Л. П. Сорт сафлора красильного Лидер. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2019;(4(180)):193–197. DOI: https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-4-180-193-197 EDN: UOJQUY

18. Arslan B., Culpan E. Melezleme ile Geliştirilmiş Bazı Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Genotiplerinin Tarımsal ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences. 2020;30(4):742–750. DOI: https://doi.org/10.29133/yyutbd.703793

19. Мархабаева А. Е., Оразбаев С. А. Оценка исходного материала для создания отечественных сортов сафлора. Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. 2014;(3):31–35. Режим доступа: http://nblib.library.kz/elib/Journal/Аграр.№3/А.Е.Мархабаева,%20С.А.Оразбаев.pdf

References

1. Zaitseva N. A., Klimova I. I. Evaluation of safflower varieties for productivity and quality in the arid conditions of the Northern Caspian region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(5):785–791. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.785-791

2. Zaitseva N. A., Yachmeneva E. V., Klimova I. I. Breeding value of safflower in arid conditions of the Northern Caspian. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2022;17(4):466–472. DOI: https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-4-466-472

3. Zaytsev S. V., Morozov D. E. Assessment of drought resistance of promising safflower varieties. *Teoreticheskie i prikladnye problemy agropromyshlennogo kompleksa* = Theoretical & Appliedapplied Problems of Agro-industry-problems of Agro-industry. 2023;58(4):51–55. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32935/2221-7312-2023-58-4-51-55

4. Vavilov N. I. The origin and geography of cultivated plants. Leningrad: *Nauka*, 1987. pp. 303, 307, 314.

5. Zubkov V. V., Polushkin P. V., Prakhova T. Ya., Terentev O. V. Cultivation of promising oilseed crops of winter ginger and *Carthamus tinctorius* L.: practical recommendations. Samara, 2012. 36 p.

6. Prakhova T. Ya., Kshnikatkina A. N., Shchanin A. A. Yield properties and adaptability of safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties in the conditions of forest-steppe of the Middle Volga region. *Niva Povolzh'ya* = Volga Region Farmland. 2020;2(55):46–51. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36461/NP.2020.2.55.008

7. Zubkov V. V., Milekhin A. V., Kurkin V. A., Kharisova A. V., Platonov I. A., Pavlova L. V. Prospects of safflower seeds oil in food and pharmaceutical industry. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2014;16(5-3):1135–1139. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23274427

8. Jabeen N., Ahmad R. The activity of antioxidant enzymes in response to salt stress in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings raised from seed treated with chitosan. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2013;93(7):1699–1705. DOI: https://doi.org/10.1002/jsfa.5953

9. Zhou X., Tang L., Xu Y., Zhou G., Wang Z. Towards a better understanding of medicinal uses of *Carthamus tinctorius* L. in traditional Chinese medicine: a phytochemical and pharmacological review. Journal of Ethnopharmacology. 2014;151(1):27–43. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.10.050

10. Yang J., Cui Y. Research on traditional dye safflower cake and its production technology. Journal of Silk. 2017;54:73–80. DOI: https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-7003.2017.12.013

11. Kharisova A. V. Ehe perspectives of the using of safflower in medicine and pharmacy. *Fundamental'nye issledovaniya* = Fundamental research. 2013;(10-1):154–157. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20192219

12. Bergman J., Kandel H. Safflower Production. A870. North Dakota State University Fargo, North Dakota, 2019. URL: https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/2022-07/a870.pdf

13. Pooran G., Somayeh K. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Breeding. In book: Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops. 2019;6:537–575. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23265-8_14

14. Abaev S. S., Gatske L. N., Meyirman F. T., Erzhanova S. T., Kaskabaev N. B., Medeubekov D. K. Safflower cultivars and their evaluation in breeding for productivity and quality in the conditions of south-east Kazakhstan. Izdenister, Nətizheler = Research, Results. 2024;2-1(special):128–136. (In Kazakhstan).
DOI: https://doi.org/10.37884/2-1-2024/547

15. Leus T. V., Vedmedeva E. V. The method of safflower hybridization by washing pollen off. *Naukovo-tekhnichniy byuleten' Institutu oliynikh kul'tur NAAN*. 2013;(19):13–17. (In Ukraine).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35040961

16. Deepayan R., Babita K. Safflower: In book: Hybrid seed production: principles and procedures. Jaya Publishing House, Delhi, India, 2023. pp.89–95.

17. Kartamysheva E. V., Luchkina T. N., Zbrailova L. P. A variety of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Leader. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2019;(4(180)):193–197. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-4-180-193-197

18. Arslan B., Culpan E. Melezleme ile Geliştirilmiş Bazı Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Genotiplerinin Tarımsal ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences. 2020;30(4):742–750. DOI: https://doi.org/10.29133/yyutbd.703793

19. Markhabaeva A. E., Orazbaev S. A. Evaluation starting material to create a domestic varieties of safflower. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Respubliki Kazakhstan*. 2014;(3):31–35. (In Kazakhstan).
URL: http://nblib.library.kz/elib/Journal/Аграр.№3/А.Е.Мархабаева,%20С.А.Оразбаев.pdf

Сведения об авторах

✉ **Зайцева Надежда Александровна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией селекции сельскохозяйственных культур, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», ул. квартал Северный, д. 8, с. Соленое Займище, Астраханская область, Российская Федерация, 416251, e-mail: pniiaz@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8227-398X,**
e-mail: rexham@ramber.ru

Зайцев Сергей Викторович, младший научный сотрудник лаборатории селекции сельскохозяйственных культур, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», ул. квартал Северный, д. 8, с. Соленое Займище, Астраханская область, Российская Федерация, 416251,
e-mail: pniiaz@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0001-7155-0005**

Information about the authors

✉ **Nadezhda A. Zaitseva,** PhD in Agriculture, senior researcher, Head of the Laboratory for selection of agricultural crops, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, st. Severny kvartal, 8, Salty Zaymishche, Astrakhan region, Russian Federation, 416251, e-mail: pniiaz@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8227-398X, e-mail: rexham@ramber.ru

Sergey V. Zaitsev, junior researcher, the Laboratory for selection of agricultural crops, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, st. Severny kvartal, 8, Salty Zaymishche, Astrakhan region, Russian Federation, 416251, e-mail: pniiaz@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0001-7155-0005**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.831–838
УДК 631.526.32:633.853.52(470.4)

(cc) BY

Сравнительная оценка раннеспелых сортов и сортообразцов сои в условиях северного Поволжья

© 2024. И. Ю. Иванова✉, А. А. Фадеев, С. В. Ильина
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Цель исследований – изучить в условиях Чувашской Республики (северное Поволжье Приволжского Федерального округа РФ) перспективные сорта сои из коллекции ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР) различных эколого-географических групп и выявить источники селекционно-ценных признаков для дальнейшего использования их в гибридизации. Наблюдение, изучение и сравнение прошли 161 сортообразец коллекции ВИР и 40 сортов российской и зарубежной селекции из Беларуси, Канады, США, Германии, Польши, Украины, Австрии, Швеции и других стран. Стандартом служил допущенный к возделыванию в Волго-Вятском регионе сорт СибНИИК-315 (Россия). Исследования проводили в 2021–2023 гг. в полевых условиях на естественном фоне (почва – серая лесная тяжелосуглинистая). По продуктивности одного растения лучшие показатели в очень ранней группе спелости имели сорта Памяти Фадеева и Касатка (Россия) – 17,0 г, в раннеспелой – сорт Дока (Россия) – 18,0 г и сортообразец 1029/2 (Польша) – 18,5 г (продуктивность сорта-стандарта – 14,1 г/раст., $НСР_{05}$ = 2,6 г). Выявлены перспективные сорта по крупности семян: Люмария и Белгородская 7 (Россия), которые имели максимальные значения массы 1000 семян – 206 и 186 г соответственно, что на 41 и 21 г больше сорта-стандарта ($НСР_{05}$ = 12,6 г). По высоте прикрепления нижнего боба положительно характеризовались 8 сортообразцов и 3 сорта, у которых расположение первого яруса бобов от поверхности почвы составляло более 17 см, на 6 см выше данного показателя у сорта-стандарта ($НСР_{05}$ = 5,4 см). Весь исследуемый исходный материала обладал высокой устойчивостью к фитопатогенам и полеганию. Сорта, выделенные в процессе исследований, являются ценным исходным материалом при создании новых высококонкурентных сортов сои северного экотипа для возделывания в условиях 56⁰ с. ш.

Ключевые слова: *соя, скороспелость, урожайность, адаптивность, вариабельность, элементы продуктивности*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0007).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Иванова И. Ю., Фадеев А. А., Ильина С. В. Сравнительная оценка раннеспелых сортов и сортообразцов сои в условиях северного Поволжья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):831–838.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.831-838

Поступила: 18.04.2024 Принята к публикации: 23.09.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Comparative assessment of early-ripening soybean cultivars and samples in the conditions of the northern Volga region

© 2024. Inga Yu. Ivanova✉, Andrey A. Fadeev, Svetlana V. Ilina
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The purpose of the research was to study promising soybean cultivars from the collection of the N. I. Vavilov All–Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) of various ecological and geographical groups in the conditions of the Chuvash Republic (northern Volga Region of the Volga Federal District of the Russian Federation) and identify sources of breeding valuable traits for their further use in hybridization. Under observation, study and comparison were 161 samples of the VIR collection and 40 cultivars of Russian and foreign breeding (Belarus, Canada, USA, Germany, Poland, Ukraine, Austria, Sweden, etc.). The 'SibNIIK-315' cultivar approved for cultivation in the Volga-Vyatka region (Russia) was taken as the standard. The research was carried out in 2021–2023 in the field on a natural background (gray forest heavy loamy soil). According to the productivity of one plant in the very early ripening group the 'Memory Fadeeva' and 'Kasatka' (Russia) cultivars had the best indicators of 17.0 g, in the early ripening group it was 'Doka' (Russia) with 18.0 g and sample 1029/2 (Poland) with 18.5 g. The productivity of the standard cultivar was 14.1 g/plant, LSD_{05} = 2.6 g. According to the seed size the following promising cultivars were identified: 'Lumaria' and 'Belgorodskaya 7' (Russia), which had maximum weight of 1000 seeds of 206g and 186 g, respectively, that was 41g and 21 g more than the standard cultivar, LSD_{05} = 12.6 g. As to the height of attachment of the lower bean, 8 samples and three cultivars were positively characterized. They had the placement of the upper layer of beans to the soil surface more than 17 cm, that was 6 cm higher than this indicator for the standard cultivar, with LSD_{05} = 5.4 cm. All the studied source material was highly resistant to phytopathogens and lodging. The cultivars identified during the research process are valuable source material for the development of new highly competitive soybean varieties of the northern ecotype for cultivation in conditions of 56⁰ north latitude.

Keywords: *soybeans, precocity, yield, adaptability, variability, productivity elements*

***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 Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0007).

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

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

***For citations**:* Ivanova I. Yu., Fadeev A. A., Ilina S. V. Comparative assessment of early-ripening soybean cultivars and samples in the conditions of the northern Volga region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):831–838. (In Russ.). https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.831-838

Received: 18.04.2024 Accepted for publication: 23.09.2024 Published online: 30.10.2024

В современном земледелии сорт выступает как самостоятельный и совершенно определенный фактор повышения урожайности любой культуры и, наряду с агротехникой, имеет большое, а в ряде случаев решающее значение для получения высоких и устойчивых урожаев [1].

Соя – одна из наиболее ценных сельскохозяйственных культур, применяемая на пищевые, кормовые, технические и иные цели. Главным фактором, способствующим возделыванию ее во всех континентах мира, является уникальный биохимический состав семян, в которых содержится 35–45 % белка и 28 % масла [2].

В Российской Федерации производство сои динамично развивается, что обусловлено растущим спросом на соевые продукты пищевой и комбикормовой промышленностью. Валовой сбор сои в России (при средней урожайности 1,5 т/га), по данным 2022 г., составляет 5,78 млн т, или свыше 1 % мирового производства [3]. В России существует реальная возможность расширения ее посевных площадей и размещение на них высокопродуктивных сортов сои, отличающихся улучшенным комплексом хозяйственно ценных признаков, высокопластичных, адаптированных к новым условиям среды и способных давать рентабельную конкурентоспособную продукцию [4, 5, 6].

Интродукция сои для лесостепной зоны Нечерноземья стала реальной благодаря появлению в производстве новых раннеспелых сортов северного экотипа. Агроклиматические ресурсы Чувашии вполне удовлетворительные для производства зерна сои и ведения семеноводства культуры. Одним из основных сдерживающих факторов выступает недобор тепла. Бытовавшие ранее представления о сое как о культуре муссонного климата уже давно скорректированы возделыванием ее как на орошении, так и на богаре во многих регионах России: в Сибири, Поволжье, Центрально-Черноземном районе, на Алтае, Северном Кавказе и других областях. Успехи селекции по созданию пластичных и адаптивных сортов сои изменили понятие «биологического минимума» культуры [7].

Оценка небольших наборов скороспелых образцов сои на территории 56° с. ш. начата еще в 90-е годы прошлого века с целью поиска в генофонде сои образцов, перспективных в качестве исходного материала для создания ультраскороспелых сортов. Многолетний опыт изучения сои позволяет сделать вывод о возможности возделывания ее в южной части Волго-Вятского региона как для получения семян, так и для товарной продукции с последующей переработкой на пищевые и кормовые цели [8, 9].

Решением координационного совещания «Развитие исследований по селекции, семеноводству и технологиям возделывания масличных культур с учетом изменяющихся погодных условий» предусмотрено создание для Центральных районов Нечерноземной зоны раннеспелых (75–100 дней), высокопродуктивных (2,1–2,4 т/га), технологичных сортов сои северного экотипа, устойчивых к стрессовым факторам среды [10].

Выведение сортов, адаптированных к определенным условиям зоны возделывания, а также разработка сортовой технологии для конкретной местности является в настоящее время весьма актуальным.

Цель исследований – провести комплексную оценку раннеспелых образцов сои коллекции ВИР по хозяйственно ценным признакам и выделить источники для включения в селекционный процесс при создании новых сортов сои северного экотипа.

Научная новизна – выявлены новые источники селекционно-ценных признаков сои по параметрам продуктивности и стабильности в условиях Волго-Вятского региона России.

Материал и методы. Исследования проводили в 2021–2023 гг. на базе Чувашского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в кормовом севообороте на серой лесной среднесуглинистой почве (содержание гумуса (по Тюрину) – 4,6 %, нейтральная реакция почвенного раствора, повышенное содержание подвижного фосфора и обменного калия (по Кирсанову)). Предшественник – яровые зерновые, площадь делянки 1 м^2, повторность

испытания – трехкратная. Способ посева широкорядный (50 см), норма высева 300 тыс. всхожих семян на 1 га.

Изучали 201 образец – 161 сортообразец из коллекции ВИР – 40 сортов отечественной и зарубежной селекции. Сорт-стандарт СибНИИК-315 включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ, допущенных к возделыванию в Волго-Вятском регионе. Фенологические наблюдения, учет урожая, биометрический анализ проводили по Методике государственного сортоиспытания с.-х. культур[1]. Образцы сои характеризовали в соответствии с классификацией по Г. С. Посыпанову [11], гидротермический режим периодов вегетации – по гидротермическому коэффициенту (ГТК) Селянинова[2]. Статистическая обработка полученных данных выполнена методом дисперсионного анализа в изложении Б. А. Доспехова[3].

За годы проведения НИР гидротермические условия в период вегетации существенно отличались как по годам, так и по фазам роста и развития растений (табл. 1).

Таблица 1 – **Гидротермические показатели (ГТК) периодов вегетации за 2021–2023 гг. /**
Table 1 **– Hydrothermal indicators (HTC) of the growing seasons of 2021–2023**

Месяц / Month	*Декада / Decade*	*2021 г.*	*2022 г.*	*2023 г.*
Май / May	I	2,25	2,63	0,83
	II	0,10	2,97	0,31
	III	1,38	1,36	1,45
	За месяц / Per month	1,04	2,30	0,94
Июнь / June	I	0,08	0,93	0,54
	II	0,43	0,56	0,04
	III	0,99	0,40	0,00
	За месяц / Per month	0,56	0,63	0,21
Июль / July	I	0,44	0,38	0,01
	II	0,35	3,20	1,58
	III	0,67	1,52	1,32
	За месяц / Per month	0,48	1,67	0,98
Август / August	I	2,06	0,13	0,09
	II	0,51	0,00	0,50
	III	0,23	0,01	0,47
	За месяц / Per month	1,00	0,05	0,33
Сентябрь / September	I	2,16	1,30	0,00
	II	0,53	4,22	0,00
	За месяц / Per month	1,35	2,76	0,00
Май-Сентябрь (I-II декады) / May-September (I-II decades)		0,75	0,96	0,51
Сумма активных температур (выше 10 ºС), ºС / The sum of active temperatures (above 10 ºС), ºС		2484	2059	1810

2021 год характеризовался теплой весной с недостаточной влагообеспеченностью пахотного слоя (ГТК – 1,04). Вегетативная фаза проходила при жаркой погоде и слабыми осадками (ГТК – 0,08–0,43). В этих условиях фаза «цветение» наступила в начале 3-й декады июня, на неделю раньше обычного срока. Прошедшие дожди в конце месяца способствовали цветению сои, однако последующее развитие сои попало под июльскую засуху (ГТК I и II декады – 0,44 и 0,35 соответственно). Наблюдали абортивность цветков и сброс бобов с верхних ярусов. Прошедшие в начале августа обильные дожди обеспечили оптимальные условия для формирования полноценных бобов. Сухая погода в первой половине сентября способствовала успешному проведению уборочных работ.

[1]Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур. М.: Б.и., 1988. 121 с.
[2]Чирков Ю. И. Агрометеорология. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 320 с.
[3]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студ. высших с.-х. учеб. заведений по агрономическим специальностям. Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. М.: Альянс, 2011. 350 с.

2022 год сложился контрастным по отношению к предыдущему году. Холодная и дождливая погода в мае (ГТК – 2,3) отодвинула сроки сева на две недели, в июне и начале июля преобладала теплая погода со слабыми осадками. Последующие осадки в июле на фоне повышенного температурного режима создали оптимальные условия для развития растений. Однако резкая засуха августа (ГТК – 0,05) оказала существенное влияние на формирование бобов, особенно на раннеспелых сортах. Уборка проходила в условиях повышенной влагообеспеченности почвы.

Условия вегетационного периода 2023 года по гидротермическому режиму классифицировались как засушливые (ГТК – 0,51). В апреле и мае наблюдали повышенный температурный режим для данного периода (средняя температура воздуха на 3,9 и 5,4 ºС выше многолетней) при недостатке влаги.

В июне отмечено заметное похолодание и слабые осадки. Растения сои попали в стрессовое состояние после появления всходов в период формирования вегетативной массы из-за недостаточной влагообеспеченности и низких температур. Выпавший во второй и третьей декадах июля обильный дождь – 29,1 и 29,7 мм, или 145,5 и 148,5 % декадной нормы – значительно улучшил условия увлажнения и оказал благоприятное влияние на формирование урожая. В фазы «цветение» и «бобообразование» растения входили при засушливых условиях на фоне высоких температур, что повлияло на абортацию цветков и в последующем на снижение массы 1000 семян, особенно у раннеспелых сортов сои.

Август сложился сухим и жарким, что ускорило развитие растений. Теплая и сухая погода в сентябре позволила успешно завершить уборочные работы.

Результаты и их обсуждение. Модель сорта сои северного экотипа для условий 56º с. ш. предусматривает следующие параметры:

- раннеспелый с вегетационным периодом 95–105 дней (сумма активных температур выше 10 ºС – 1800–2200 ºС);
- пониженная реакция на длину дня;
- высокий (70–80 см);
- индетерминантный или промежуточный тип роста;
- компактный, средневетвистый (3-4 ветвления);
- 12–14 узлов на главном побеге;
- не менее двух бобов в узле;
- не менее двух семян в бобе;
- масса 1000 семян – не менее 150 г;
- технологичный (не полегающий, не растрескивающийся с высоким прикреплением нижнего боба).

Сорта сои для северных регионов должны обладать такими хозяйственно ценными признаками, как нейтральность к фотопериоду, раннеспелость, холодостойкость, дружное созревание за короткий осенний период [12].

Исследуемые нами образцы по продолжительности вегетационного периода подразделили на три группы спелости: очень ранняя (необходимая сумма активных температур выше 10 ºС составляет менее 1800 ºС), раннеспелая (1801–2000 ºС), среднеспелая (2201–2600 ºС).

По признаку «чувствительность к длине светового дня» отрицательную реакцию на увеличение светового дня до 17 часов показали 69 сортообразцов, в т. ч. 19 номеров отечественной и 50 – зарубежной селекции, которые имели длинный вегетационный период продолжительностью 131–150 дней и потребность в сумме активных температур выше 10 ºС – более 2901 ºС.

Вегетационный период за годы изучения сортов и сортообразцов сои для очень ранней группы составил 80 и менее дней, раннеспелой группы – 81–90 дней, среднеспелой – 91–100 дней. Однако продолжительность периода от посева до уборки зависит не только от свойств сорта, но и от агроклиматических условий года. В засушливые 2021 и 2023 гг. фазы роста и развития растений сои были короче на 10–12 дней по сравнению с 2022 г. Очень ранние сорта сформировали урожай за 86–97 дней, среднеспелые – 101–112 дней.

По результатам трехгодичных испытаний, сорта и образцы сои отнесены к разным группам спелости:

- очень ранняя: к-9609, к-9659, к-9960, к-10043, к-10044, к-10708, к-11036, к-11037, к-11114, Артика, Альфа, Апис, Аргумент, Цивиль, Памяти Фадеева, Чера 1, Люмария, Сибириада 20, Баргузин (Россия); к-10871, к-11383 (Беларусь); к-10624, к-10868, к-11087 (Польша); к-11360, к-11388, к-11389 (Швеция).
- раннеспелая: к-4874, к-5416, к-5892, к-9332, к-9587, к-9659, к-9959, к-10676, к-11077, к-11198, к-11199, к-11367, к-11502, Аргента, Адесса, Снежок, Миляуша, Люция, Дока, Черемшанка, Сибириада, Мерчен, Красивая Меча, Вита, Славянка, Дань, Унга (Россия); к-4883 (Литва); к-5714, к-9837 (Германия); к-5584, к-11355, к-11388, к-11389, к-11488, к-11489 (Швеция); к-5749, к-10606, к-11487

(Франция); к-9780 (США), к-10126, к-10625, к-10641, к-10989, к-11087 (Польша); к-10606, к-10679, к-11035 (Канада); к-10856, к-10941 (Украина); к-10871 (Беларусь).

- среднеспелая: к-5546, к-6271, к-6433, к-6809, к-9953, к-9999, к-10130, к-10392, к-10688, к-10875, к-11486, Саяна, Тундра, Амиго, Барон, Покровская, Сиберея, Лидер, Тайга, Сентябринка (Россия); к-4842, к-4880 (Молдова); к-5233 (Румыния); к-6087 (Чехословакия); к-5580, к-5586, к-8144, к-9628, к-11358 (Швеция); к-6478, к-6795, к-6803, к-7136, к-10557, к-11048, к-11590, к-11592, к-11594 (Польша); к-6785, к-6789, к-10538 (Германия); к-6887, к-9631, к-10382 (Франция); к-6909, к-7082, к-10869, к-10942 (Украина); к-10828, к-10978 (Канада); к-10964 (Чехия); к-11134 (Китай); к-11482 (Нидерланды); к-11490 (Япония); к-11491 (США).

По типу роста среди испытуемых сортов более 70 % составляли индетерминантные сорта, в основном средне- и позднеспелые, среди раннеспелой группы преобладали детерминантные образцы (к-10868, к-10941, к-11594, Чера 1, Памяти Фадеева, Люмария).

Высота растений определяется длиной основного стебля от поверхности почвы до верхушки. Основная группа была представлена растениями высотой от 50 до 80 см – 115 образцов (в т. ч. сорт-стандарт СибНИИК-315), от 80 до 100 см – 47 образцов (в большинстве индетерминантные). В группу короткостебельных вошли образцы с длиной стебля до 50 см – к-11490, к-11360, к-11389, к-5749, Красивая Меча, Дань и другие. Высота растений варьировала в зависимости от погодных условий, в 2022 году средний показатель по испытуемым сортам составил 81 см, в засушливом 2023 году – всего 59 см.

По признаку «количество продуктивных узлов на главном стебле» выделились – к-6909, к-10989, к-10587, к-10606, Саяна, Люмария, Луция, Магева, Тундра, Амиго, Барон, Артика, Покровская, которые имели по 17 продуктивных узлов. У сорта-стандарта этот показатель в среднем за 3 года составил 12,9 шт. ($НСР_{05}$ = 2,4 шт./раст.).

По высоте прикрепления нижнего боба от поверхности почвы (выше 15 см) выделились – к-10126 (16,8 см), к-6809 (19,4), к-10606 (18,1), к-6271 (18,3), к-11355 (19,6), к-5416 (21,4), к-5546 (21,5), к-7082 (26,0), Аргента (17,8), Баргузин (19,9), Мерчен (24,0 см). Высота прикрепления нижнего боба у сорта-стандарта в среднем за 2021–2023 гг. составила 10,7 см ($НСР_{05}$ = 5,2). Этот признак также был подвержен влиянию погодных условий, в засушливые годы высота прикрепления нижних бобов зафиксирована на уровне 10–12 см, в относительно благоприятные по увлажнению – 15–17 см.

Полегание растений от основания отмечено у сортообразцов к-5233, к-6087, к-11590, к-1159, к-11594, к-10538, к-10679, к-10828, к-9631.

Растрескивание бобов и осыпание семян ведет к значительной потере урожая. Поэтому при включении источника в селекционный процесс следует обратить особое внимание на этот признак, т. к. он является доминирующим. В наших исследованиях он выявлен у 20 % образцов – к-5749, к-9631, к-10130, к-11487, к-6478, к-7136, к-10126, к-10865, к-11048, к-11592, к-5580, к-8144, к-11278, к-11358, к-11360, к-11388, к-11389 к-766-2, к-738-4, к-10539, к-10626, к-10552, к-9780, к-11490, к-9960, к-10875, к-11036, к-11367 и других.

Одним из важных показателей продуктивности сорта является количество сформировавшихся бобов на растении. Наибольшие значения (70–100 бобов) по этому признаку показали сортообразцы – к-10868, к-10044, к-9659, к-10557, к-10392, к-10676, к-6795, к-10382, к-9631, к-11590, к-10130, Миляуша, Сибириада, Аргента, Амиго, Саяна. Наименьшее значение имели к-11482 (14 шт.), Акцент (16), Аргумент (13), при показателе 53 шт. у сорта-стандарта ($НСР_{05}$ = 26,3 шт.).

Самый высокий показатель «количество семян в бобе» (2,5-2,6) был у сортов Аргента, Вита, Цивиль, к-10978, к-11035, к-11482, к-10989, к-1087, что достоверно превысило стандарт на 0,5-0,6 шт. ($НСР_{0,5}$ = 0,2). Число семян в бобе не превышало значения 2 шт. у к-11489, к-11591, к-5580, к-5233, к-11486, к-11012, к-6887, Дань.

Анализ испытуемых сортообразцов показал, что семенная продуктивность во многом зависит не только от сорта, но и от сложившихся погодных условий. Хороший результат по урожайности семян получили в 2022 году, в среднем по образцам он составил 241,8 г/м^2, в 2023 году в условиях засухи – равнялся 146,5 г/м^2, т. е. в 1,6 раза ниже. В условиях засушливого вегетационного периода (2023 г.) у многих образцов отмечено снижение урожайности в 1,5–2,0 раза. Лучшие по сбору семян сорта и сортообразцы сои показаны в таблице 2.

Признак «масса 1000 семян» по образцам варьировал от 88 до 230 г. Крупные семена имели 8 образцов – к-11012 (230 г), к-5580 (204 г), к-11489 (204 г), к-11488 (192 г), к-6887 (184 г), Люмария (206 г), Мерчен (213 г), Малета (187 г). Наименьшей массой 1000 семян (до 130 г) характеризовались 23 номера, 174 образца имели средние показатели (130–180 г).

Таблица 2 – **Наиболее урожайные сорта и сортообразцы сои по группам спелости (среднее за 2021–2023 гг.) /**
Table 2 – **The most productive cultivars and samples of soybeans by maturity groups (average for 2021–2023)**

Номер по каталогу ВИР / Number in VIR catalog	*Название сорта, сортообразца / Name of the cultivar, sample*	*Происхождение / Origin*	*Урожайность семян, г/м² / Seed yield, g/m²*	*Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g*
Очень ранняя группа спелости / A very early ripening group				
9609	СибНИИК-315 – ст. / ‘SibNIIK-315’ – st	Россия, Новосибирская обл. Сибирский НИИСХ / Russia, Novosibirsk region Siberian Research Institute	253,2	165
-	Памяти Фадеева / ‘Pamyati Fadeeva’	Россия, Чувашский НИИСХ / Russia, Chuvash Research Institute	306,0	153
-	Люмария / ‘Lyumariya’	Россия, Чувашский НИИСХ / Russia, Chuvash Research Institute	293,7	206
-	Миляуша / ‘Milyausha’	Россия, Омский АНЦ, ФИЦ Казанский НЦ / Russia, OSC SB RAS, FIC KazanSC of RAS	286,3	150
11114	Касатка / ‘Kasatka’	Россия, Рязанский НИИСХ / Russia, Ryazan Research Institute	305,9	136
11077	‘OAC Vision’	Канада / Canada	294,4	152
Раннеспелая группа / Early ripening group				
-	Луция / ‘Luciya’	Россия, ФНЦ лубяных культур / Russia, Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops	300,5	120
-	Дока / ‘Doka’	Россия, Краснодар, ООО Компания «СОКО» / Russia, Krasnodar, LLC SOKO Company	324,0	119
9332	Омская 4 / ‘Omskaya 4’	Россия, Омский АНЦ / Russia, OSC SB RAS	304,0	154
-	Черемшанка / ‘Cheremshanka’		286,4	157
-	Сибириада / ‘Sibiriada’		297,6	138
-	Покровская / ‘Pokrovskaya’	Россия, Саратов / Россорго / Saratov, Russia / Rossorgo	314,0	156
10989	1029/2	Польша / Poland	333,1	164
11590	‘Augusta’	Польша / Poland	290,9	88
-	Амбрелла / ‘Ambrella’	Австрия / Austria	303,3	130
9628	748-5	Швеция / Sweden	316,5	153
$НСР_{05}$ / LSD_{05}			31,8	12,6

Заключение. Проведенная оценка 161 коллекционного образца и 40 перспективных сортов сои различного происхождения в условиях южной части Волго-Вятского региона в 2021–2023 гг. позволила дифференцировать изучаемые образцы по средней продолжительности вегетационного периода на три группы: очень ранняя (80 и менее дней) – 13,4 %; раннеспелая (81–90 дней) – 24,9 %; среднеспелая (91–100 дней) – 27,4 %.

Испытание образцов по хозяйственно ценным признакам (продолжительность вегетационного периода, высота растений, количество продуктивных узлов, число бобов и семян в бобе, масса 1000 семян, семенная продуктивность) в условиях 56° с. ш. способствовало выявлению источников для включения в селекционную работу при создании сортов северного экотипа:

- в очень ранней группе спелости (до 80 дней) по урожайности (3 т/га) – сорта Памяти Фадеева, Касатка (Россия); в раннеспелой (81–90 дней) по урожайности (более 3 т/га) – Покровская (Россия), 748-5 (Швеция), 1029-2 (Польша);

- по крупности семян (масса 1000 семян более 200 г) – Люмария, Мерчен (Россия), Kenchawol (Англия), Дун-нун 36 (Китай), 8-43 (Франция), Fiskey TypXX (Швеция);

- по высоте прикрепления нижнего боба (более 17 см) – Аргента, Янтарная, Баргузин, Шоколадная, Мерчен (Россия), Kalmit (Франция), Красноградская 1, Красноградская (Украина), 1220-118-23, (Швеция).

Список литературы

1. Минькач Т. В., Селихова О. А., Дубовицкая Л. К., Тихоньчук П. В. Комплексная оценка коллекционных образцов для селекции сои. Дальневосточный аграрный вестник. 2020;54(2):35–41. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=43313796 EDN: GYYMMH

2. Некрасов А. Ю. Соя: источники из коллекции генетических ресурсов ВИР. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):48–52. DOI: http://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-1-48-52 EDN: QMLIIA

3. Присяжная И. М., Присяжная С. П. Определение конструктивных параметров дополнительной транспортной и скатной досок в комбайне двухфазного обмолота для сепарации семян сои. Агронаука. 2024;2(1):78–89. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65110526 EDN: BORKEV

4. Дорохов А. С., Белышкина М. Е., Большева К. К. Производство сои в Российской Федерации: основные тенденции и перспективы развития. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(3(47)):25–33. DOI: http://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-3-25-33 EDN: DXORYI

5. Асанов А. М., Омельянюк Л. В., Халипский А. Н. Урожайность сортов сои различного происхождения в условиях западной Сибири. Вестник КрасГАУ. 2023;(8(197)):54–63. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=56446659 EDN: FBXUFS

6. Васина Е. А., Бутовец Е. С., Лукьянчук Л. М. Результаты изучения исходного материала сои в условиях Приморского края для селекционных целей. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(4):19–29. DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-19-29 EDN: SZUJVA

7. Сеферова И. В., Вишнякова М. А. Генофонд сои из коллекции ВИР для продвижения агрономического ареала культуры к северу. Зернобобовые и крупяные культуры. 2018;(3(27)):41–47. DOI: http://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11030 EDN: XZCKXJ

8. Иванова И. Ю., Фадеев А. А. Влияние погодных условий на урожайность сои в условиях Волго-Вятского региона. Зернобобовые и крупяные культуры. 2020;(4(36)):93–98. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44356452 EDN: DFFASV

9. Зеленский Н. А., Зеленская Г. М., Абрамов А. А., Бабак Ю. В. Продуктивность сои в зависимости от совместного применения почвопокровной сидеральной культуры и различных ресурсосберегающих технологий обработки почвы в Волго-Вятском регионе. АРК News. 2018;(10):23–25. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36265635 EDN: VJNNSU

10. Решение координационного совещания «Развитие исследований по селекции, семеноводству и технологиям возделывания масличных культур с учетом изменяющихся погодных условий». Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2011;(2(148–149)):3–4. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17889509 EDN: PBMJSJ

11. Посыпанов Г. С. Соя в Подмосковье. Сорта северного экотипа для Центрального Нечерноземья и технологии их возделывания. М.: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2007. 200 с.

12. Белышкина М. Е., Кобозева Т. П., Гуреева Е. В. Рост и развитие сортов сои северного экотипа в зависимости от влияния лимитирующих факторов вегетационного периода. Аграрный научный журнал. 2020;(9):4–9. DOI: https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp4-9 EDN: FMBIUQ

References

1. Minkach T. V., Selikhova O. A., Dubovitskaya L. K., Tikhonchuk P. V. Comprehensive assessment of collection samples for soybean breeding. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2020;54(2):35–41. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=43313796

2. Nekrasov A. Y. Soybean: sources from the VIR collection of genetic resources. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2020;181(1):48–52. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-1-48-52

3. Prisyazhnaya I. M., Prisyazhnaya S. P. Definition of constructional parameters for supplementary transport and scale doctory in the company of the two-fase review for separation of soya seeds. *Agronauka*. 2024;2(1):78–89. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65110526

4. Dorokhov A. S., Belyshkina M. E., Bolsheva K. K. Soy production in the Russian Federation: basic trends and development prospects. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2019;(3(47)):25–33. (In Russ.). DOI: http://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-3-25-33

5. Asanov A. M., Omelyanyuk L. V., Khalipskiy A. N. Yield of different origin soybean variety under the western Siberia conditions. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2023;(8(197)):54–63. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=56446659

6. Vasina E. A., Butovets E. S., Lukyanchuk L. M. Results of a study of soybean source material for breeding purposes under the conditions of Primorsky Territory. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022;183(4):19–29. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-19-29

7. Seferova I. V., Vishnyakova M. A. Soybean genpool from VIR collection for the promotion of agronomical area of the crop to the north. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2018;(3(27)):41–47. (In Russ.). DOI: http://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11030

8. Ivanova I. Yu., Fadeev A. A. Influence of weather conditions on soybean yield in the Volga-Vyatka region. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2020;(4(36)):93–98. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44356452

9. Zelenskiy N. A., Zelenskaya G. M., Abramov A. A., Babak Yu. V. Soybean productivity depending on the combined use of ground-covering green-manure crop and various resource-saving technologies of tillage in the Volga-Vyatka region. APK News. 2018;(10):23–25. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36265635

10. Decision of the coordination meeting "Development of research on breeding, seed production and technologies of cultivation of oilseeds taking into account changing weather conditions". *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2011;(2(148–149)):3–4. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17889509

11. Posypanov G. S. Soybeans in the Moscow region. Varieties of the Northern ecotype for the Central Non-Chernozem region and their cultivation technology. Moscow: *RGAU-MSKhA im. K. A. Timiryazeva*, 2007. 200 p.

12. Belyshkina M. E., Kobozeva T. P., Gureeva E. V. Growth and development of soybean varieties of the northern ecotype depending on the influence of limiting factors of the growing season. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2020;(9):4–9. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp4-9

Сведения об авторах

✉ **Иванова Инга Юрьевна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательского институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0792-1721,** e-mail: m35y24@yandex.ru

Фадеев Андрей Анатольевич, кандидат с.-х. наук, директор филиала, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0834-1681**

Ильина Светлана Вавиловна, аспирант, младший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1789-6494**

Information about the authors

✉ **Inga Yu. Ivanova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsivilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e- mail: chniish@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0792-1721**, e-mail: m35y24@yandex.ru

Andrey A. Fadeev, PhD in Agricultural Science, Director of the Branch, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsivilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0834-1681**

Svetlana V. Ilina, post-graduate student, junior researcher, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsivilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1789-6494**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.839–845
УДК 633.81:631.526.32

(cc) BY

Агроэкологическая оценка нигеллы в условиях лесостепи Среднего Поволжья

© 2024. Т. Я. Прахова[1]✉, А. Л. Исакова[2]
[1]*ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Российская Федерация*
[2]*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», г. Горки, Республика Беларусь*

Нигелла в настоящее время становится весьма популярным эфиромасличным растением, которое используется в различных отраслях промышленности. В статье представлена комплексная оценка 5 сортов нигеллы белорусской селекции в условиях лесостепи Среднего Поволжья (Пензенская обл.). За годы исследований (2021–2023) установлено, что нигелла в условиях региона полностью проходит все этапы роста и развития, формируя полноценный урожай. Вегетационный период культуры варьирует от 96 до 107 дней. Урожайность культуры по сортам составила 1,44–1,58 т/га. Наиболее высокая продуктивность семян отмечена у сортов Радасць и Беларускі Духмяны – 1,58 и 1,57 т/га соответственно. Все сорта характеризовались высокой адаптивной способностью, коэффициент адаптивности составил 0,95–1,04. Наибольший уровень стабильности формирования урожая отмечен у сортов Радасць и Знахарка (13,0 и 13,3). Максимальным содержанием жира в семенах отличились сорта Радасць и Искра – 41,6 и 41,9 % соответственно. У сортов Сунічны Водар и Беларускі Духмяны масличность семян была ниже (39,7 и 39,4 %), однако по годам данный показатель был наиболее стабильным (индекс стабильности составил 6,1 и 7,4 соответственно). В составе масла преобладали линолевая (49,5–64,8 %) и олеиновая (17,5–30,5 %) кислоты. Анализ структуры урожая показал, что все сорта сформировали достаточно крупные семена с массой 1000 семян от 2,76 г (Знахарка) до 3,54 г (Радасць). Оценка сортов нигеллы показала ее высокие адаптивные возможности в климатических условиях Пензенской области. Нигелла посевная является перспективной культурой масличного назначения для интродукции в Средневолжский регион.

Ключевые слова: *Nigella* L., *тмин черный, сорта, урожайность, масличность, адаптивность, стабильность, структура урожая*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2022-0008) и в рамках договора о НТС № 1 от 26 января 2021 г. в области изучения эфиромасличных культур.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Прахова Т. Я., Исакова А. Л. Агроэкологическая оценка нигеллы в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):839–845. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.839-845

Поступила: 14.08.2024 Принята к публикации: 04.10.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Agroecological evaluation of nigella in the forest-steppe conditions of the middle Volga region

© 2024. Tatiana Ya. Prakhova✉, Anastasia L. Isakova[2]
[1]*Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation*
[2]*Belarusian State Order of the October Revolution and the Red Banner of Labour Agricultural Academy, Gorki, Republic of Belarus*

Nigella is currently becoming a very popular essential oil plant, which is used in various industries. The article presents a comprehensive assessment of 5 varieties of nigella of Belarusian breeding in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region (Penza region). Over the years of research (2021–2023), it has been established that nigella, in the conditions of the research region, completely goes through all stages of growth and development, forming a full-fledged harvest. The growing season of the crop varies from 96 to 107 days. The crop yield was 1.44–1.58 t/ha by cultivars. The highest seed productivity was noted in the 'Radasts' and 'Belaruski Dukhmyany' cultivars, which amounted to 1.58 and 1.57 t/ha, respectively. All varieties were characterized by high adaptive capacity, the adaptability coefficient was 0.95–1.04. The highest level of stability of yield formation was noted in the 'Radasts' and 'Znakharka' cultivars (13.0 and 13.3). The varieties 'Radasts' and 'Iskra' had the highest fat content in seeds – 41.6 and 41.9 %, respectively. It should be noted that the 'Sunichny Vodar' and 'Belaruski Dukhmyany' cultivars had lower seed oil content (39.7 and 39.4 %), but this indicator was the most stable over the years (the stability index was 6.1 and 7.4, respectively). In the oil composition linoleic (49.5–64.8 %) and oleic (17.5–30.5 %) acids predominated. Analysis of the crop structure showed that all cultivars formed rather large seeds with a 1000-seed weight from 2.76 g ('Znakharka') to 3.54 g ('Radasts'). Evaluation of nigella cultivars showed its high adaptive capabilities in the climatic conditions of the Penza region. Nigella sativa is a promising oilseed crop for introduction into the Middle Volga region.

Key words: *Nigella* L. *(black cumin), cultivars, yield, oil content, adaptability, stability, yield structure*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops (theme No. FGSS-2022-0008) and within the framework of the agreement on scientific and technical cooperation No. 1 of January 26, 2021 in the field of studying essential oil crops.

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: Prakhova T. Ya., Isakova A. L. Agroecological evaluation of nigella in the forest-steppe conditions of the middle Volga region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):839–845. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.839-845

Received: 14.08.2024 Accepted for publication: 04.2024 Published online: 30.10.2024

В последнее время резкие изменения климатических факторов в сторону увеличения температурного режима, в том числе и в Средневолжском регионе, открывают возможность использования более жаростойких и теплолюбивых культур. В свою очередь, расширение спектра биоразнообразия во многом зависит от успеха интродукции новых нетрадиционных растений [1]. Одним из ключевых направлений является внедрение культур, которые не только адаптируются к местным условиям возделывания, но и улучшают свои хозяйственно ценные признаки в процессе приспособления [2]. Это предполагает, что в сельскохозяйственном производстве данного региона возможно культивирование новых культур, которые раньше здесь не выращивались. Однако следует отметить, что внедрение новых культур должно проводиться с учетом экологических факторов, для этого необходим подбор наиболее адаптированных и продуктивных сортов [3].

Нигелла (*Nigella* L.) или тмин черный, благодаря своей пластичности в отношении гидротермических условий, является одной из перспективных культур для интродукции. Эта однолетняя эфиромасличная культура семейства *Ranunculaceae* – очень красивое и полезное растение, обладающее широким спектром применения.

Хозяйственное значение нигеллы – возделывание на семена, которые используются в пищевой [2], фармацевтической промышленности [4], а также в парфюмерии и косметологии [5]. Агрономическая ценность состоит в ее неприхотливости и высокой урожайности в специфических условиях конкретного региона. Черный тмин хорошо переносит засуху, не нуждается в особом уходе, что делает данную культуру особенно востребованной в органическом земледелии [2, 6].

В семенах нигеллы содержание жирного масла достигает 35–40 %, эфирного – до 1,5–2,0 % [6, 7]. Семена нигеллы используют в качестве приправы, добавляя в выпечку, соусы, маринады, а также как натуральное оздоровительное, иммуностимулирующее средство [8, 9]. Масло нигеллы богато моно- и полиненасыщенными жирными кислотами (около 80 %) [10, 11, 12], содержит тимохинон [13, 14], большое количество других биологически активных веществ [15]. Нигелла обладает фармакологической активностью, что позволяет использовать ее в народной медицине для лечения и профилактики различных заболеваний [2, 5].

В настоящее время широко распространены исследования, проводимые как отечественными, так и зарубежными учеными, посвященные изучению фармакологических, лечебных и других свойств данной культуры [15, 16, 17].

Для лесостепи Среднего Поволжья нигелла является нетрадиционной культурой, поэтому изучение ее в местных условиях с последующей интродукцией в регион является актуальной темой исследования и имеет научное и практическое значение.

Цель исследований – провести всестороннюю оценку по хозяйственно ценным признакам сортов нигеллы в агроклиматических условиях лесостепи Среднего Поволжья для выявления наиболее ценных с широким адаптивным потенциалом для последующей интродукции культуры в регион.

Научная новизна – впервые проведена комплексная оценка различных сортов нигеллы белорусской селекции в агроклиматических условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном поле Пензенского НИИСХ – обособленного подразделения ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (Лунино, Пензенская область) в течение 2021–2023 гг. Объектом исследований служили 5 сортов нигеллы белорусской селекции: Сунічны Водар, Радасць, Искра, Беларускі Духмяны и Знахарка.

Характеристика сортов:

- Радасць – высота 55–60 см, период от появления всходов до начала созревания семян – 100 дней. Фактическая семенная продуктивность одного растения – 3,8 г, потенциальная – 4,35 г. Урожайность семян при ручном сборе – 277,2 г/м^2. Масса 1000 семян – 2,7 г.

- Сунічны водар – высота 60–65 см, период вегетации – 106 дней. Фактическая семенная продуктивность одного растения составляет 4,2 г, потенциальная – 5,3 г. Урожайность

семян при ручном сборе – 310,0 г/м^2. Масса 1000 семян – 2,7 г.

- Искра отличается ранним периодом созревания – 95 дней. Урожайность при ручном сборе – 445,7 г/м^2. Масса 1000 семян – 2,5 г. Выход жирного масла – 32,16 %.

- Знахарка – высота до 50 см, период от появления всходов до начала созревания семян – около 100 дней. Урожайность при ручном сборе семян – 324,8 г/м^2. Реальная семенная продуктивность 1 растения – 4,25 г, масса 1000 семян – 2,5 г. Сумма омега кислот в общем содержании жирных кислот составляет 75,34 %.

- Беларускі духмяны – высота 75–80 см. Период от появления всходов до начала созревания семян –106 дней. Урожайность семян при ручном сборе – 313,9 г/м^2. Масса 1000 семян – 2,25 г. Содержание сырого жира составляет 34 %, олеиновой кислоты – 30,7 %, линолевой кислоты – 48,6 %.

Климат региона умеренно-континентальный, годовая сумма осадков варьирует в пределах от 350 до 750 мм, сумма эффективных температур – от 1550 до 2150 °С.

В годы исследований метеорологические условия, в целом, были благоприятными для роста и развития нигеллы. В 2021 г. период вегетации культуры характеризовался как умеренно-увлажненный (ГТК = 0,92), в 2022 и 2023 гг. рост и развитие нигеллы происходили в умеренно-засушливых условиях (ГТК – 0,85 и 0,84 соответственно). Сумма осадков за годы исследований составила 167,6–185 мм, среднесуточные температуры варьировали в пределах 18,0–24,5 °С.

Почва опытного участка – выщелоченный чернозем с содержанием гумуса 5,7–6,5 % (по Тюрину), легкогидролизуемого азота – 73,9 мг/кг (по Тюрину и Кононовой), подвижного фосфора – 148,6 мг/кг, обменного калия – 190,5 мг/кг (по Чирикову), реакция почвенного раствора слабокислая $pH_{сол}$ – 5,3–5,7 ед.

Закладку полевых опытов, наблюдения, учеты урожайности проводили по общепринятым методикам [18]. Показатели «уровень стабильности сорта» (ПУСС) и «индекс стабильности» (ИС) находили по методике, описанной Э. Д. Неттевичем [19].

Масличность семян методом Сокслета и содержание в них жирных кислот методом газожидкостной хроматографии определяли в лаборатории интродукции редких масличных культур Пензенского НИИСХ. Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову[1].

Результаты и их обсуждение. В годы исследований посев нигеллы проводили в первой декаде мая, благодаря относительному теплу и влажности почвы всходы появлялись в среднем на 11–19-й день после посева. В начальный период растения нигеллы растут очень медленно, продолжительность периода «всходы–цветение» в зависимости от условий года составила 55–64 дня. Длина периода «цветение–полная спелость» по годам была практически одинаковая – в среднем по сортам 41–44 дня (рис. 1).

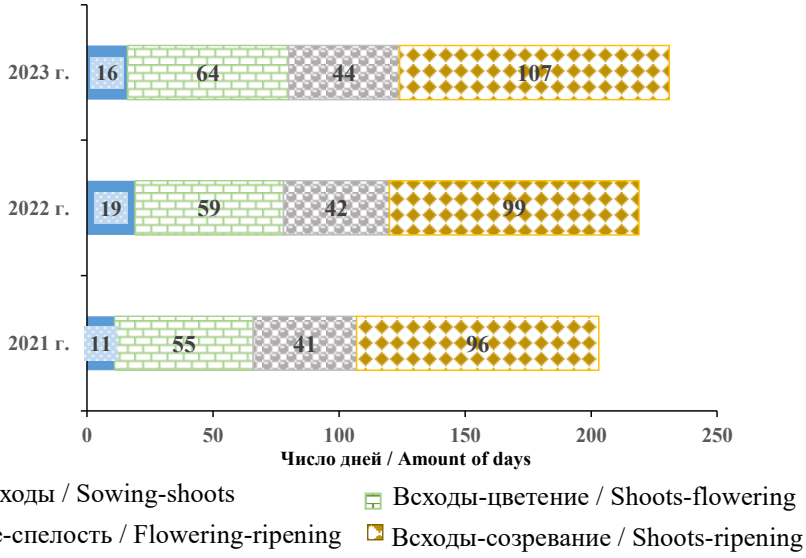


Рис. 1. **Продолжительность фенологических фаз развития сортов нигеллы посевной (2021–2023 гг.) /**
Fig. 1. **Duration of phenological phases of development of Nigella sativa cultivars (2021–2023)**

[1]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Альянс, 2014. 349 с.

Таблица 1 – **Параметры структуры урожая сортов нигеллы посевной (2021–2023 гг.) /**
Table 1 – **Yield structure parameters of nigella sativa cultivars (2021–2023)**

Сорт / Cultivar	*Высота растений, см / Plant height, cm*	*Количество, шт. / Quantity, pcs.*		*Масса, г / Weight, g*	
		листовок на растении / leaflets on a plant	*семян в 1 листовке / seeds in 1 leaflets*	*семян с 1 растения / seeds from 1 plant*	*1000 семян / 1000 seeds*
Сунічны Водар / Sunichny Vodar	53,5	12,2	83,7	2,17	3,01
Радасць / Radasts	54,7	17,1	89,3	2,38	3,54
Искра / Iskra	69,0	16,4	69,0	2,09	3,39
Беларускі Духмяны / Belarusian Dukhmyany	74,0	11,8	76,2	1,70	3,36
Знахарка / Znaharka	58,5	18,1	76,8	2,31	2,76
CV, %	16,6	19,3	9,8	12,5	9,9

Нигелла имеет достаточно короткий вегетационный период, который в зависимости от влагообеспеченности варьирует в пределах от 96 до 107 дней. Созревание культуры приходится, в основном, на 3-ю декаду августа. Скорость и время наступления фенологических фаз, продолжительность вегетационного периода культуры являются важными показателями адаптации растений к окружающей среде.

При структурном анализе урожая нигеллы выявлено, что формирование ее продуктивности зависит от варьирования и размера значений элементов урожайности.

Число плодов (листовок) на растении по сортам колебалось от 11,8 до 18,1 шт., при этом образование их по годам характеризовалось средней изменчивостью, коэффициент вариации составил 19,3 % (табл. 1). Наибольшее число листовок (18,1 и 17,1 шт.) сформировалось у сортов Знахарка и Радасць, минимальное – у сорта Беларускі Духмяны (11,8 шт.).

Количество семян в одной листовке по сортам составило 69,0–89,3 шт. По данному признаку можно выделить сорта Сунічны Водар (83,7 шт.) и Радасць (89,3 шт.).

Семенная продуктивность одного растения находилась в пределах 1,70–2,38 г, вариабельность данного признака составила 12,5 %. Наиболее высокая масса семян с одного растения отмечена у сортов Радасць и Знахарка – 2,38 и 2,31 г соответственно. При этом, все сорта сформировали достаточно крупные семена с массой 1000 семян от 2,76 до 3,54 г, коэффициент вариации достаточно низкий и составил всего 9,9 %. Наиболее крупные семена получены у сорта Радасць, масса 1000 семян составила 3,54 г. У остальных сортов данный показатель варьировал от 2,76 г (Знахарка) до 3,39 г (Искра).

Высота растений не является структурным элементом урожая, но оказывает на него определенное влияние. Так, более высокие растения подвержены полеганию в случае неблагоприятных условий, а низкие – создают трудности при уборке, что в обоих случаях приводит непосредственно к потере урожая. Высота растений нигеллы незначительно варьировала по сортам (CV = 16,6 %) и находилась в диапазоне 53,5–74,0 см. Наиболее высокорослые сорта – Беларускі Духмяны (74,0 см) и Искра (69,0 см).

Урожайность нигеллы в годы исследований мало различалась в пределах сорта, коэффициент вариации составил 1,68 % (Знахарка) – 3,82 % (Беларускі Духмяны) (табл. 2). В среднем за годы, наиболее высокой продуктивностью семян отличались сорта Радасць и Беларускі Духмяны (1,58 и 1,57 т/га), что превышает среднесортовое значение на 0,05 и 0,06 т/га, при наименьшей существенной разнице 0,04 т/га.

Высоким значением показателя «уровень стабильности сорта» (ПУСС) обладали Радасць и Знахарка, который составил 13,0 и 13,3 соответственно, что показывает их широкие адаптивные возможности. Важно отметить, что все сорта имели достаточно высокие значения коэффициента адаптивности (КА) – 0,95–1,04.

Содержание жирного масла в семенах сортов нигеллы, в среднем за годы исследований, варьировало в пределах 37,2–41,9 % (табл. 3). Наибольшая масличность семян отмечена у сортов Радасць и Искра (41,6 и 41,9 % соответственно), низкая (37,2 %) – у сорта Знахарка.

Таблица 2 – **Урожайность и показатели адаптивности сортов нигеллы посевной (2021–2023 гг.) /**
Table 2 – **Productivity and adaptability indicators of Nigella sativa cultivars (2021–2023)**

Сорт / Cultivar	*Урожайность, т/га / Yield, t/ha*				*CV, %*	*ПУСС**	*КА***
	2021 г.	*2022 г.*	*2023 г.*	*среднее / average*			
Сунічны Водар / ‘Sunichny Vodar’	1,41	1,45	1,46	1,44	1,84	11,2	0,95
Радасць / ‘Radasts’	1,61	1,55	1,59	1,58	1,93	13,0	1,04
Искра / ‘Iskra’	1,47	1,49	1,54	1,50	2,40	9,3	0,99
Беларускі Духмяны / ‘Belarusian Dukhmyany’	1,63	1,51	1,57	1,57	3,82	6,4	1,03
Знахарка / ‘Znaharka’	1,50	1,52	1,47	1,49	1,68	13,3	0,98
Среднее / Average	1,52	1,50	1,53	1,52	-	-	-
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,08	0,07	0,06	0,04	-	-	-

*Уровень стабильности сорта, **Коэффициент адаптивности /
*Level of cultivar stability, **Adaptation coefficient

Таблица 3 – **Масличность и жирнокислотный состав семян сортов нигеллы посевной (2021–2023 гг.) /**
Table 3 – **Oil content and fatty acid composition of seeds of Nigella sativa cultivars (2021-2023)**

Сорт / Cultivar	*Масличность, % / Oil content, %*	*ИС**	*Жирные кислоты, % / Fatty acids, %*			
			каприновая / capric	*пальмитиновая / palmitic*	*олеиновая / oleic*	*линолевая / linoleic*
Сунічны Водар / ‘Sunichny Vodar’	39,7	6,1	3,9	9,4	27,3	50,7
Радасць / ‘Radasts’	41,6	4,5	2,0	9,3	30,5	49,5
Искра / ‘Iskra’	41,9	3,8	2,1	9,4	27,8	51,8
Беларускі Духмяны / ‘Belarusian Dukhmyany’	39,4	7,4	0,2	10,4	17,5	64,8
Знахарка / ‘Znaharka’	37,2	4,8	0,3	11,5	20,4	60,5
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	1,07	-	-	-	-	-

*Индекс стабильности / *Stability Index

Следует отметить, что у сортов Сунічны Водар и Беларускі Духмяны масличность семян была ниже – 39,7 и 39,4 %, однако по годам данный показатель отмечен наиболее стабильным, индекс стабильности (ИС) данных сортов по уровню накопления масла составил 6,1 и 7,4 соответственно.

В жирнокислотном составе маслосемян нигеллы преобладало содержание линолевой кислоты (омега 6) – от 49,5 до 64,8 % в зависимости от сорта. Наиболее высокого значения (64,8 и 60,5 %) данная кислота достигала в масле семян сортов Беларускі Духмяны и Знахарка.

Доля олеиновой кислоты колебалась от 17,5 % (сорт Беларускі Духмяны) до 30,5 % (сорт Радасць).

Содержание насыщенной пальмитиновой кислоты составило 9,3–11,5 %. В жирнокислотном составе семян нигеллы присутствует еще одна насыщенная жирная кислота – каприновая, содержание которой варьирует в пределах от 0,2 % в масле сорта Беларускі Духмяны до 3,9 % в масле сорта Сунічны Водар.

Заключение. По результатам исследований 2021–2023 гг. можно сделать вывод, что сорта нигеллы белорусской селекции в условиях Среднего Поволжья формируют полноценный урожай и отличаются высокой семенной продуктивностью до 1,44–1,58 т/га. Максимальная урожайность отмечена у сортов Радасць и Беларускі Духмяны (1,57 и 1,58 т/га соответственно). По содержанию жирного масла выделились Радасць (41,6 %) и Искра (41,9 %). Это позволяет рекомендовать данные сорта как перспективные для внедрения в условиях Пензенского региона и производства семян с высоким содержанием масел.

Наибольшей стабильностью урожая по годам характеризовались сорта Радасць и

Знахарка (ПУСС – 13,0 и 13,3 соответственно), наибольшей стабильностью маслонакопления отличились сорта Сунічны Водар и Беларускі Духмяны (ИС – 6,1 и 7,4 соответственно).

Таким образом, нигелла посевная является перспективной культурой масличного назначения для возделывания в условиях Пензенской области.

Список литературы

1. Прахова Т. Я. Интродукция и продуктивность масличных культур семейства *Asteraceae* в условиях Среднего Поволжья. Таврический вестник аграрной науки. 2021;(1(25)):164–173. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45693058 EDN: LRKZSM

2. Прохоров В. Н. Нигелла – ценная хозяйственно-полезная культура (обзор литературы). Овощи России. 2021;(4):111–123. DOI: https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-111-123 EDN: JRVWTD

3. Виноградов Д. В., Мажайский Ю. А., Новикова А. В., Лупова Е. И. Продуктивность сортов льна масличного в зависимости от сроков посева в Нечерноземной зоне России. Российская сельскохозяйственная наука. 2021;(1):17–20. DOI: https://doi.org/10.31857/S250026272101004X EDN: FHAOOA

4. Khonche A., Huseini H. F., Gholamian M., Mohtashami R., Nabati F., Kianbakht S. Standardized Nigella sativa seed oil ameliorates hepatic steatosis, aminotransferase and lipid levels in nonalcoholic fatty liver disease: A randomized, doubleblind and placebo-controlled clinical trial. Journal of Ethnopharmacology. 2019;234:106–111. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.01.009

5. Исакова А. Л., Прохоров В. Н., Исаков А. В. Нигелла в Беларуси. Горки, 2021. 118 с.

6. Prakhova T. Ya. Ecological aspects of the productivity of nigella varieties under the conditions of the Middle Volga region. Russian Agricultural Sciences. 2022;48(3):169–173. DOI: https://doi.org/10.3103/s1068367422030090

7. Терёхина А. В., Щербаков М. Н. Исследование жирнокислотного состава растительных масел. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023;(1(95)):111–117. DOI: https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-1-111-117

8. Абдуллаев К. М. Нигелла (*Nigella* L.) – пряно-вкусовая овощная культура. Известия ФНЦО. 2020;2:124–127. DOI: https://doi.org/10.18619/2658-4832-2020-2-124-127 EDN: ZATCKM

9. Горяинов С. В., Хромов А. В., Бакуреза Г., Эспарса Сесар, Ивлев В. А., Воробьев А. Н., Абрамович Р. А., Потанина О. Г., Новиков О. О. Результаты сравнительного исследования состава масел семян *Nigella sativa* L. Фармация и фармакология. 2020;8(1):29–39. DOI: https://doi.org/10.19163/2307-9266-2020-8-1-29-39 EDN: YDLBCB

10. Исакова А. Л. Черный тмин в Беларуси. Наше сельское хозяйство. 2020;(17(241)):48–53.

11. Осипова Г. С., Хусейн Салих С. Р. Сравнительная оценка содержания масла и жирных кислот в образцах семян нигеллы посевной (*Nigella Sativa* L.). Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023;(2(71)):31–38. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54594911 EDN: KHIZHQ

12. Габибуллаева Л. А., Рамазанов А. Ш. Жирнокислотный состав масла семян *Nigella Sativa* L. при интродукции в условиях Дагестана. Химия растительного сырья. 2023;(3):221–227. DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.20230311784 EDN: LQNGHP

13. Уэйли А. К., Бурцева Е. В., Кулдыркаева Е. В., Новосад А. С., Бабак Н. Л., Жохова Е. В., Уэйли А. О., Гончаров М. Ю., Тернинко И. И., Яковлев Г. П. Способ получения тимохинона из жирного масла семян тмина черного (*Nigella Sativa* L.). Разработка и регистрация лекарственных средств. 2023;12(3):29–40. DOI: https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-3-29-40 EDN: AXJXTY

14. Shad K. F., Soubra W., Cordato D. J. The role of thymoquinone, a major constituent of Nigella sativa, in the treatment of inflammatory and infectious diseases. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology. 2021;48(11):1445–1453. DOI: https://doi.org/10.1111/1440-1681.13553

15. Мубинов А. Р., Авдеева Е. В., Куркин В. А., Латыпова Г. М., Фархутдинов Р. Р., Катаев В. А., Рязанова Т. К. Жирнокислотный профиль и антиоксидантная активность жирного масла чернушки посевной. Химико-фармацевтический журнал. 2021;55(8):45–49. DOI: https://doi.org/10.30906/0023-1134-2021-55-8-45-49 EDN: AJTODI

16. Алхасова Х. М., Соловьев В. Г. Состав и биологические свойства масла черного тмина (обзор литературы). Научный медицинский вестник Югры. 2021;30(4):14–20. DOI: https://doi.org/10.25017/2306-1367-2021-30-4-14-20 EDN: KEOLBC

17. Gholamnezhad Z., Shakeri F., Saadat S., Ghorani V., Boskabady M. H. Clinical and experimental effects of Nigella sativa and its constituents on respiratory and allergic disorders. Avicenna Journal of Phytomedicine. 2019;9(3):195–212. DOI: https://doi.org/10.22038/AJP.2019.12196

18. Цицилин А. Н., Ковалев Н. И., Коротких И. Н., Басалаева И. В., Бабенко Л. В., Савченко О. М., Хазиева Ф. М. Методика исследований при интродукции лекарственных и эфирномасличных растений. М.: ФГБНУ ВИЛАР, 2022. 64 с.

19. Неттевич Э. Д. Потенциал урожайности рекомендованных для возделывания в Центральном районе РФ сортов яровой пшеницы и ячменя и его реализация в условиях производства. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2001;(3):3–6.

References

1. Prakhova T. Ya. Introduction and productivity of oilseeds of the *Asteraceae* family under conditions of the Middle Volga region. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki*. 2021;(1(25)):164–173. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45693058

2. Prokhorov V. N. Nigella is a valuable economically useful crop (literature review). *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2021;(4):111–123. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-111-123

3. Vinogradov D. V., Mazhayskiy Yu. A., Novikova A. V., Lupova E. I. Productivity of flax varieties of varieties depending on the seeding time in the Non-black-zone of Russia. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2021;(1):17–20. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S250026272101004X

4. Khonche A., Huseini H. F., Gholamian M., Mohtashami R., Nabati F., Kianbakht S. Standardized Nigella sativa seed oil ameliorates hepatic steatosis, aminotransferase and lipid levels in nonalcoholic fatty liver disease: A randomized, doubleblind and placebo-controlled clinical trial. Journal of Ethnopharmacology. 2019;234:106–111. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.01.009

5. Isakova A. L., Prokhorov V. N., Isakov A. V. Nigella in Belarus. Gorki, 2021. 118 p.

6. Prakhova T. Ya. Ecological aspects of the productivity of nigella varieties under the conditions of the Middle Volga region. Russian Agricultural Sciences. 2022;48(3):169–173. DOI: https://doi.org/10.3103/s1068367422030090

7. Terekhina A. V., Shcherbakov M. N. Investigation of the fatty acid composition of vegetable oils. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2023;85(1):111–117. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-1-111-117

8. Abdullaev K. M. Nigella (*Nigella* L.) – is spicy-flavored vegetable culture. *Izvestiya FNTsO*. 2020;2:124–127. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18619/2658-4832-2020-2-124-127

9. Goryainov S. V., Khromov A. V., Bakureza G., Cesar E., Ivlev V. A., Vorobyev A. N., Abramovich R. A., Potanina O. G., Novikov O. O. Results of a comparative study of *Nigella Sativa* L. Seeds oils composition. *Farmatsiya i farmakologiya* = Pharmacy & Pharmacology. 2020;8(1):29-39. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.19163/2307-9266-2020-8-1-29-39

10. Isakova A. L. Black cumin in Belarus. *Nashe sel'skoe khozyaystvo*. 2020;(17(241)):48–53. (In Russ.).

11. Osipova G. S., Khuseyn Salikh S. R. Comparative assessment of oil and fatty acid content in seed samples of nigella sown seeds (*Nigella Sativa* L.). *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2023;(2(71)):31–38. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54594911

12. Gabibullaeva L. A., Ramazanov A. Sh. Fatty acid composition of nigella sativa l. seed oil introduced in Dagestan. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2023;(3):221–227. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.20230311784

13. Ueyli A. K., Burtseva E. V., Kuldyrkaeva E. V., Novosad A. S., Babak N. L., Zhokhova E. V., Ueyli A. O., Goncharov M. Yu., Terninko I. I., Yakovlev G. P. A method for the isolation of thymoquinone from black caraway seed oil (*Nigella Sativa* L.). *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv* = Drug development & registration. 2023;12(3):29–40. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-3-29-40

14. Shad K. F., Soubra W., Cordato D. J. The role of thymoquinone, a major constituent of Nigella sativa, in the treatment of inflammatory and infectious diseases. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology. 2021;48(11):1445–1453. DOI: https://doi.org/10.1111/1440-1681.13553

15. Mubinov A. R., Avdeeva E. V., Kurkin V. A., Latypova G. M., Farkhutdinov R. R., Kataev V. A., Ryazanova T. K. Fatty acid profile and antioxidant activity of nigella sativa fatty oil. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal* = Pharmaceutical Chemistry Journal. 2021;55(8):45–49. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30906/0023-1134-2021-55-8-45-49

16. Alkhasova Kh. M., Solovyev V. G. Composition and biological properties of black seed oil (literature review). *Nauchnyy meditsinskiy vestnik Yugry*. 2021;30(4):14–20. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25017/2306-1367-2021-30-4-14-20

17. Gholamnezhad Z., Shakeri F., Saadat S., Ghorani V., Boskabady M. H. Clinical and experimental effects of Nigella sativa and its constituents on respiratory and allergic disorders. Avicenna Journal of Phytomedicine. 2019;9(3):195–212. DOI: https://doi.org/10.22038/AJP.2019.12196

18. Tsitsilin A. N., Kovalev N. I., Korotkikh I. N., Basalaeva I. V., Babenko L. V., Savchenko O. M., Khazieva F. M. Research methodology for the introduction of medicinal and essential oil plants. Moscow: *FGBNU VILAR*, 2022. 64 p.

19. Nettevich E. D. The yield potential of spring wheat and barley cultivars recommended for cultivation in the Central region of the Russian Federation and its implementation in production conditions. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* = Reports of the Russian Academy of agricultural sciences. 2001;(3):3–6. (In Russ.).

Сведения об авторах

✉ **Прахова Татьяна Яковлевна,** доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мичурина, д. 1 б, р. п. Лунино, Пензенская обл., Российская Федерация, 442731, e-mail: info@fnclk.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7063-4784,** e-mail: prakhova.tanya@yandex.ru

Исакова Анастасия Леонидовна, кандидат с.-х. наук, старший преподаватель кафедры защиты растений, УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», ул. Мичурина 5, г. Горки, Могилевская область, Республика Беларусь, 213407, e-mail: kancel@baa.by

Information about the authors

✉ **Tatiana Ya. Prahova,** DSc in Agricultural Science, chief researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, Federal Research Center for Bast Fiber Crops,1 b Michurin st., Lunino r.p., Penza region, Russian Federation, 442731, e-mail: info@fnclk.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7063-4784,** e-mail: prakhova.tanya@yandex.ru

Anastasia L. Isakova, PhD in Agricultural Science, senior lecturer, the Department of Plant Protection, Belarusian State Order of the October Revolution and the Red Banner of Labour Agricultural Academy, Michurin street 5, Mogilev region, Gorki, Republic of Belarus, 213407, e-mail: kancel@baa.by

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.846–854
УДК 631.527:634.75 (470.54)

Номенклатурные стандарты сортов земляники селекции Свердловской селекционной станции садоводства

© 2024. Е. Ю. Невоструева[1], Л. В. Багмет[2] ✉
[1]*ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург, Российская Федерация*
[2]*ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР)», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

В данной публикации обнародованы номенклатурные стандарты 8 сортов земляники селекции Свердловской станции садоводства: 'Акварель' (WIR-108162), 'Алтын' (WIR-108163), 'Виола' (WIR-108166), 'Гейзер' (WIR-108167), 'Даренка' (WIR-108168), 'Дуэт' (WIR-108169), 'Торпеда' (WIR-108171), 'Форсаж' (WIR-108172). Растительный материал для номенклатурных стандартов был собран и идентифицирован в коллекции организации-оригинатора куратором коллекции земляники. Гербарный образец номенклатурного стандарта каждого сорта представлен гербарным листом, на котором размещены части одного растения, собранные в два срока: цветки – в период цветения; плоды и однолетние побеги – в период плодоношения. На гербарной этикетке указаны: гербарный номер образца в Гербарии ВИР; латинское название вида; название сорта; происхождение (название организации, в которой был создан сорт); место репродукции (где выращено гербаризируемое растение); даты сбора, фамилии коллекторов. Гербарные листы дополнены фотографиями плодов, цветков и общего габитуса растения. Номенклатурные стандарты оформлены в соответствии с рекомендациями Международного кодекса номенклатуры культурных растений (ICNCP), зарегистрированы в базе данных «Гербарий ВИР» и переданы на хранение в типовой фонд Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR). Номенклатурные стандарты хранят оригинальную генетическую и морфологическую информацию по включенным в исследование сортам земляники и служат официальным документом сорта как селекционного достижения.

Ключевые слова: *гербарный образец, Fragaria ananassa (Weston) Duchesne ex Rozier, селекционный сорт, Средний Урал, Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR), Международный кодекс номенклатуры культурных растений*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР)» (тема № FGEM-2022-0006) и бюджетного проекта ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № 0532-2021-0008).

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении исследования руководителю Свердловской селекционной станции садоводства Татьяне Николаевне Слепнёвой.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: 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

Поступила: 06.05.2024 Принята к публикации: 01.10.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Nomenclatural standards of strawberry cultivars bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station

© 2024. Elena Yu. Nevostrueva[1], Larisa V. Bagmet[2] ✉
[1]*Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation*
[2]*Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russian Federation*

The article informs on the nomenclatural standards of 8 strawberry cultivars bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station: 'Akvarel'' (WIR-108162), 'Altyn' (WIR-108163), 'Viola' (WIR-108166), 'Gejzer' (WIR-108167), 'Darenka' (WIR-108168), 'Due`t' (WIR-108169), 'Torpeda' (WIR-108171), 'Forsazh' (WIR-108172). Plant material for nomenclatural standards was selected and identified in the collection of the originator organization by the curator of the strawberry collection. The herbarium sample of the nomenclatural standard of each cultivar is represented by herbarium sheet containing parts of one plant collected in two periods: flowers – during the flowering period; fruits and annual shoots – during the fruiting period. The herbarium label indicates: the herbarium number of the sample in the VIR Herbarium, the scientific name of the species, the name of the cultivar, the origin (the name of the organization in which the cultivar was created), the place of reproduction

(where the plant was grown), the dates of collecting, the names of collectors. Herbarium sheets are supplemented with photos of fruits, flowers and general habitus of the plant. Nomenclature standards are made in accordance with the recommendations of the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants (ICNCP), registered in the database "VIR Herbarium" and included in the type collection of Herbarium of cultivated plants of the world, their wild relatives and weeds (WIR). The nomenclatural standards store the original genetic and morphological information on the studied strawberry cultivars and serve as an official document of the cultivar as a breeding achievements.

Keywords: *herbarium specimen, Fragaria ananassa (Weston) Duchesne ex Rozier, breeding cultivar, Middle Ural; Herbarium of cultivated plants of the world, their wild relatives and weeds, International Code of Nomenclature for Cultivated Plants*

Acknowledgment: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) (theme No. FGEM-2022-0006) and the state assignment of the Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 0532-2021-0008).

The authors express their gratitude to the Head of the Sverdlovsk Breeding Station Tatyana Nikolaevna Slepneva, for help in the implementation of this work.

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

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

For citation: 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

Received: 06.05.2024 Accepted for publication: 01.10.2024 Published online: 30.10.2024

Для коллекции номенклатурных стандартов сортов отечественной селекции Гербария ВИР (WIR) отдел агроботаники и сохранения *in situ* генетических ресурсов растений ВИР совместно со Свердловской селекционной станцией садоводства проводит работу по созданию номенклатурных стандартов плодовых и ягодных культур свердловской селекции. Селекционную работу по землянике на Свердловской селекционной станции садоводства начали с посева гибридных семян 5 комбинаций скрещиваний, полученных в 1939 г. из Центрального научно-исследовательского института северного плодово-ягодного хозяйства им. И. В. Мичурина (ныне – ФГБНУ ФНЦ им. И. В. Мичурина), научным сотрудником А. Д. Поздняковым. Он же заложил первую коллекцию земляники в количестве 25 сортообразцов, поступивших из Расширенного плодово-ягодного опорного пункта г. Ойрот-Тура (сейчас – ФГБНУ ФАНЦА). В 1945 г. была проведена первая гибридизация земляники, по результатам которой отобрано 17 сеянцев. В 1948–1984 гг. изучением земляники на станции занималась Л. И. Чистякова. За период ее работы гибридный фонд земляники увеличился до 8000 образцов, значительно возросло качество отборного материала. В начале 60-х годов созданы первые сорта земляники селекции станции ‘Вишневая’, ‘Свердловская’ и ‘Исетская’ [1]. С 1984 г. селекционную работу по землянике продолжила И. И. Богданова, которая закончила ранее начатую работу над сортами ‘Горноуктусская’, ‘Багряная’, ‘Орлец’ и ‘Торпеда’, создала сорта ‘Акварель’, ‘Виола’, ‘Даренка’, ‘Дуэт’, ‘Гейзер’. В настоящее время селекцию земляники на станции ведет Е. Ю. Невоструева. Для проведения результативной гибридизации она идентифицировала и пополнила фонд источников хозяйственно ценных признаков земляники [2]. Всего в Государственный реестр селекционных достижений РФ (Госреестр)[1] включены 8 сортов селекции станции: ‘Акварель’, ‘Виола’, ‘Гейзер’, ‘Даренка’, ‘Дуэт’, ‘Орлец’, ‘Форсаж’ [3].

Цель исследования – создание номенклатурных стандартов сортов земляники селекции Свердловской селекционной станции садоводства.

Научная новизна – впервые в России созданы номенклатурные стандарты сортов земляники ‘Акварель’, ‘Алтын’, ‘Виола’, ‘Гейзер’, ‘Даренка’, ‘Дуэт’, ‘Торпеда’, ‘Форсаж’, которые отражают таксономические признаки сорта и являются хранилищем генетической информации, подтверждающей подлинность каждого сорта.

Материал и методы. Работы по созданию номенклатурных стандартов проведены на базе Свердловской селекционной станции садоводства – структурного подразделения Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (УрФАНИЦ УрО РАН) сотрудниками Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР) совместно с селекционерами станции. Материалом для создания номенклатурных стандартов послужили 8 сортов (табл. 1) и 4 элитные формы земляники из коллекции Свердловской селекционной станции садоводства.

[1]Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023.

Гербаризацию проводила Е. Ю. Невоструева, куратор коллекции земляники, в фазы цветения (цветки) и плодоношения (однолетний побег, плоды) согласно методике ВИР[2].

Описания хозяйственных признаков сортов проводили по Методике испытаний на отличимость, однородность и стабильность ФГБУ «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений»[3]. Таксономические и хозяйственно ценные признаки сверяли с опубликованными характеристиками сортов [4, 5, 6, 7].

Номенклатурные стандарты оформлены согласно положениям Международного кодекса номенклатуры культурных растений (ICNCP) [8, 9] и протоколу, разработанному в ВИР [10]. Каждый гербарный образец содержит фото цветков и плодов и заверен подписью эксперта (Е. Ю. Невоструева).

Таблица 1 – **Сорта земляники для создания номенклатурных стандартов и их статус в Государственном реестре селекционных достижений РФ /**
Table 1 – **Strawberry cultivars for creating nomenclatural standards and their status in the State Register of breeding achievements of the RF**

Название сорта / Name of cultivar	*Код в Госреестре / Code in State Register*	*Год включения в Госреестр / Year of inclusion in the State Register*	*Регион допуска / Admitted region*
‘Акварель’ / ‘Akvarel’	8854622	2022	Волго-Вятский / Volga-Vyatka
‘Алтын’ / ‘Alty`n’		ГСИ	
‘Виола’ / ‘Viola’	9609801	2017	Волго-Вятский / Volga-Vyatka
‘Гейзер’ / ‘Gejzer’	9609802	2015	Волго-Вятский / Volga-Vyatka
‘Даренка’ / ‘Darenka’	9705077	2004	Центральный, Волго-Вятский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский / Central, Volga-Vyatka, West Siberian, East Siberian
‘Дуэт’ / ‘Duet’	9252119	2013	Волго-Вятский, Западно-Сибирский / Volga-Vyatka, West Siberian
‘Торпеда’ / ‘Torpeda’	9907643	2004	Волго-Вятский, Восточно-Сибирский / Volga-Vyatka, East Siberian
‘Форсаж’ / ‘Forsazh’	8262501	2021	Волго-Вятский / Volga-Vyatka

Результаты и их обсуждение. В результате проведённого исследования в Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR) переданы номенклатурные стандарты 8 сортов (табл. 2).

Сорт ‘Акварель’ – cultivar ‘Akvarel’[4]. Получен от скрещивания сортов ‘Арника’ и ‘Горноуктусская’. Достоинства сорта: зимостойкость, крупноплодность, слабое поражение пятнистостями листьев. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Автор сорта: И. И. Богданова. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрала: 8.06.2020 (цветки), 13.07.2020 (плоды, листья) Е. Ю. Невоструева. Определила: Е. Ю. Невоструева. **(WIR-108162) /** Origin: Sverdlovsk Horticulture Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Author of the cultivar: I. I. Bogdanova. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collector: 8.06.2020 (flowers), 13.07.2020 (fruit, leaves) E. Yu. Nevostrueva. Determinator: E. Yu. Nevostrueva **(WIR-108162)** (рис. 1).

Сорт ‘Алтын’ – cultivar ‘Alty`n’. Получен от скрещивания сортов ‘Соловушка’ и ‘Marmolada’. Достоинства сорта: поздний срок созревания, хорошая зимостойкость и урожайность, товарные и потребительские качества ягод, слабое поражение белой пятнистостью.

[2]Белозор Н. И. Гербаризация культурных растений: методические указания. Л.: ВИР, 1989.
[3]Официальный сайт ФГБУ «Госсорткомиссия». Методики испытаний на ООС: Земляника. [Электронный ресурс]. URL: https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniy-na-oos.php (дата обращения: 19.04.2024).
[4]Здесь и далее транслитерация названий сортов выполнена по правилам ГОСТ 7.79-2000 (система Б, адаптация стандарта ISO 9) (ГОСТ 7.79-2000 (ИСО 9-95) СИБИД. Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом ГОСТ от 04 сентября 2001 г. № 7.79-2000).

Nomenclatural standard. Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Автор сорта: Е. Ю. Невоструева. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрала: 3.06.2020 (цветки), 16.07.2020 (плоды, листья) Е. Ю. Невоструева. Определила: Е. Ю. Невоструева. **(WIR-108163) /** Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Author of the cultivar: E. Yu. Nevostrueva. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collector: 3.06.2020 (flowers), 16.07.2020 (fruit, leaves) E. Yu. Nevostrueva. Determinator: E. Yu. Nevostrueva **(WIR-108163)** (рис. 2).

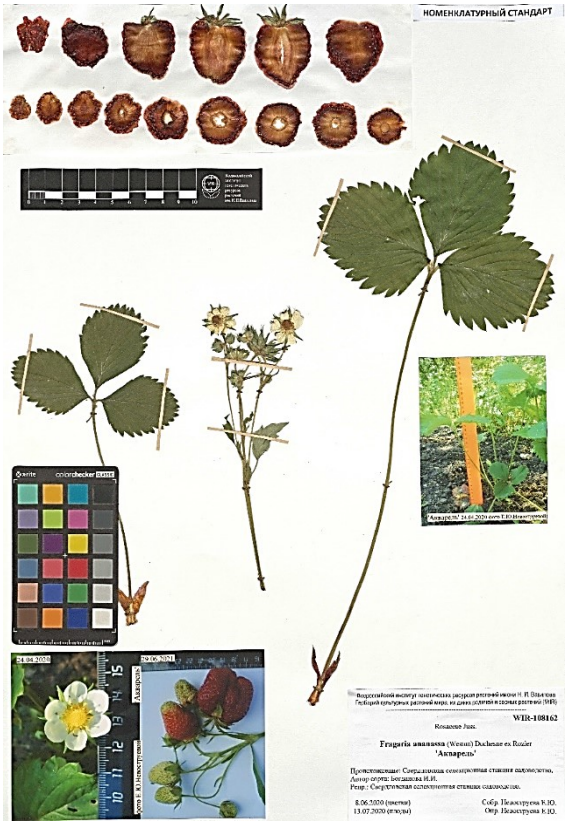


Рис. 1. **Номенклатурный стандарт сорта земляники 'Акварель' /**
Fig. 1. **Nomenclatural standard of 'Akvarel' strawberry cultivar**

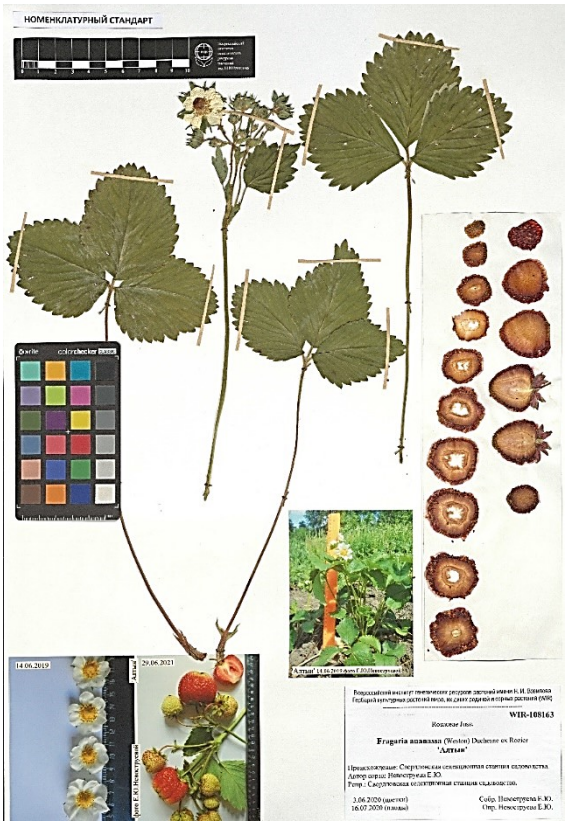


Рис. 2. **Номенклатурный стандарт сорта земляники 'Алтын' /**
Fig. 2. **Nomenclatural standard of 'Alty`n' strawberry cultivar**

Сорт 'Виола' – cultivar 'Viola'. Получен путем скрещивания сортов 'Zefyr' и 'Фестивальная'. Достоинства сорта: зимостойкость, крупноплодность, слабое поражение пятнистостями листьев. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Автор сорта: И. И. Богданова. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрала: 3.06.2020 (цветки), 3.07.2020 (плоды, листья) Е. Ю. Невоструева. Определила: Е. Ю. Невоструева **(WIR-108166) /** Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Author of the cultivar: I. I. Bogdanova. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collector: 3.06.2020 (flowers), 3.07.2020 (fruit, leaves) E. Yu. Nevostrueva. Determinator: E. Yu. Nevostrueva **(WIR-108166)** (рис. 3).

Сорт 'Гейзер' – cultivar 'Gejzer'. Получен от свободного опыления сорта 'Арника'. Достоинства сорта: зимостойкость, крупноплодность, вкусовые качества ягод, слабое поражение пятнистостями листьев. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Автор сорта: И. И. Богданова. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрала: 3.06.2020 (цветки), 13.07.2020 (плоды, листья) Е. Ю. Невоструева. Определила: Е. Ю. Невоструева. **(WIR-108167) /** Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Author of the cultivar: I. I. Bogdanova. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collector: 3.06.2020 (flowers), 13.07.2020 (fruit, leaves) E. Yu. Nevostrueva. Determinator: E. Yu. Nevostrueva **(WIR-108167)** (рис. 4).

Сорт 'Даренка' – cultivar 'Darenka'. Получен путем скрещивания сортов 'Русановка' и 'Фестивальная'. Достоинства сорта: зимостойкость, урожайность, товарность



Рис. 3. **Номенклатурный стандарт сорта земляники ‘Виола’ /**
Fig. 3. **Nomenclatural standard of ‘Viola’ strawberry cultivar**



Рис. 4. **Номенклатурный стандарт сорта земляники ‘Гейзер’ /**
Fig. 4. **Nomenclatural standard of ‘Gejzer’ strawberry cultivar**

и транспортабельность ягод, слабое поражение серой гнилью, пятнистостями листьев, слабое повреждение земляничным клещом. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Автор сорта: И. И. Богданова. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрала: 8.06.2020 (цветки), 6.07.2020 (плоды, листья) Е. Ю. Невоструева. Определила: Е. Ю. Невоструева. **(WIR-108168) /** Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Author of the cultivar: I. I. Bogdanova. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collector: 8.06.2020 (flowers), 6.07.2020 (fruit, leaves) E. Yu. Nevostrueva. Determinator: E. Yu. Nevostrueva **(WIR-108168)** (рис. 5).

Сорт ‘Дуэт’ – cultivar ‘Due`t’. Получен от свободного опыления сорта ‘Талка’. Достоинства сорта: зимостойкость, урожайность, товарность и транспортабельность ягод, слабое поражение серой гнилью, пятнистостями листьев, слабое повреждение земляничным клещом. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Авторы сорта: И. И. Богданова, Е. Ю. Невоструева. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрала: 3.06.2020 (цветки), 6.07.2020 (плоды, листья) Е. Ю. Невоструева. Определила: Е. Ю. Невоструева. **(WIR-108169) /** Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Authors of the cultivar: I. I. Bogdanova, E. Yu. Nevostrueva. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collector: 3.06.2020 (flowers), 6.07.2020 (fruit, leaves) E. Yu. Nevostrueva. Determinator: E. Yu. Nevostrueva **(WIR-108169)** (рис. 6).

Сорт ‘Торпеда’ – cultivar ‘Torpeda’. Получен путем скрещивания сортов ‘Фестивальная’ и ‘Robinson’. Достоинства сорта: зимостойкость, плотность и транспортабельность ягод, слабое поражение серой гнилью. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Автор сорта: Л. И. Чистякова. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрала: 8.06.2020 (цветки), 13.07.2020 (плоды, листья) Е. Ю. Невоструева. Определила: Е. Ю. Невоструева **(WIR-108171) /** Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Author of the cultivar: L. I. Chistyakova. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collector: 8.06.2020 (flowers), 13.07.2020 (fruit, leaves) E. Yu. Nevostrueva. Determinator: E. Yu. Nevostrueva **(WIR-108171)** (рис. 7).



Рис. 5. **Номенклатурный стандарт сорта земляники ‘Даренка’ /**

Fig. 5. **Nomenclatural standard of ‘Darenka’ strawberry cultivar**



Рис. 6. **Номенклатурный стандарт сорта земляники ‘Дуэт’ /**

Fig. 6. **Nomenclatural standard of ‘Due`t’strawberry cultivar**



Рис. 7. **Номенклатурный стандарт сорта земляники ‘Торпеда’ /**

Fig. 7. **Nomenclatural standard of ‘Torpeda’ strawberry cultivar**

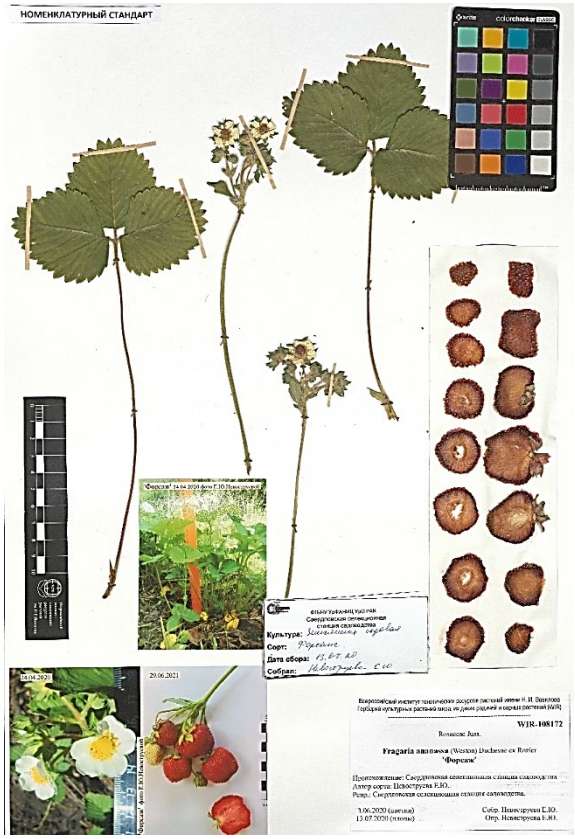


Рис. 8. **Номенклатурный стандарт сорта земляники ‘Форсаж’ /**

Fig. 8. **Nomenclatural standard of ‘Forsazh’ strawberry cultivar**

Таблица 2 – **Хозяйственно ценные признаки сортов земляники /**
Table 2 – **Economically valuable traits of strawberry cultivars**

Признак / Trait	*'Акварель' / 'Akvarel''*	*'Алтын' / 'Alty`n'*	*'Виола' / 'Viola'*	*'Гейзер' / 'Geyser'*	*'Дарёнка' / 'Darenka'*	*'Дуэт' / 'Due`t'*	*'Торпеда' / 'Torpeda'*	*'Форсаж' / 'Forsazh'*
Масса ягоды средняя / максимальная, г / Average berry weight/maximum, g	10,0/35,0	13,8/45,0	10,0/35,0	11,1/30,0	9,5/30,0	12,6/35,0	7,1/25,0	12,8/45,0
Оценка вкуса, балл / Taste rating, point	4,2	4,2	4,5	4,4	4,4	4,1	4,5	4,5
Форма ягоды / Berry shape	Удлиненно-коническая / Elongated conical	Коническая / Conical		Тупоконическая / Blunt-conical	Коническая / Conical		Удлиненно-коническая / Elongated conical	Коническая / conical
Окраска ягоды / Berry coloring	Оранжево-красная / Orange-red	Красная / Red		Оранжево-красная / Orange-red	Красная / Red	Темно-красная / Dark red		Красная / Red
Равномерность окраски ягоды / Uniformity of berry color	Слабо неравномерная / Slightly uneven	Равномерная / Uniform						
Выровненность поверхности ягоды / Evenness of the berry surface	Слабо невыровненная / Slightly unaligned		Ровная или очень слабо невыровненная / Smooth or very slightly uneven		Невыровненная / Unaligned	Слабо невыровненная / Slightly unaligned	Ровная / Smooth	Слабо невыровненная / Slightly unaligned
Глянцевитость ягоды / Berry glossiness	Сильная / Strong		Средняя / Medium		Сильная / Strong			
Окраска мякоти ягоды / Coloring of the berry pulp	Светло-розовая / Light pink	Светло-красная / Light red		Оранжево-красная / Orange-red	Красная / Red			
Зимостойкость / Winter hardiness	Хорошая / Good				Высокая / High			Хорошая / Good
Урожайность, ц/га / Productivity, c/ha	70,0–92,0	52,2–86,3	60,0–70,0	80,0–102,0	60,0–80,0	70,0–100,0	60,0–80,0	65,0–130,0
Устойчивость к серой гнили / Resistance to gray rot	Средняя / Medium		Слабо поражается / Mildly affected	Средняя / Medium	Слабо поражается / Mildly affected			Средняя / Medium
Устойчивость к земляничному клещу / Resistance to strawberry mite	Средняя / Medium	Слабо поражается / Mildly affected	Средняя / Medium		Слабо поражается / Mildly affected		Средняя / Medium	
Устойчивость к белой пятнистости листьев / Resistance to white leaf spot	Слабо поражается / Mildly affected				Средняя / Medium	Слабо поражается / Mildly affected		
Устойчивость к бурой пятнистости листьев / Resistance to brown leaf spot	Слабо поражается / Mildly affected	Средняя / Medium	Слабо поражается / Mildly affected					Средняя / Medium

Сорт ‘Форсаж’ – cultivar ‘Forsazh’. Получен путем скрещивания сортов ‘Соловушка’ и ‘Totem’. Достоинства сорта: хорошая зимостойкость и урожайность, хорошие вкусовые качества и транспортабельность ягод, слабое поражение белой пятнистостью. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Автор сорта: Е. Ю. Невоструева. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрала: 3.06.2020 (цветки), 13.07.2020 (плоды, листья) Е. Ю. Невоструева. Определила: Е. Ю. Невоструева **(WIR-108172) /** Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Author of the cultivar: E. Yu. Nevostrueva. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collector: 3.06.2020 (flowers), 13.07.2020 (fruit, leaves) E. Yu. Nevostrueva. Determinator: E. Yu. Nevo-strueva **(WIR-108172)** (рис. 8).

В настоящее время разработаны методы ДНК-идентификации на основе использования высокоинформативных SSR-маркеров, позволяющие проводить оценку генетического разнообразия и паспортизацию сортов земляники [11, 12, 13]. Однако к настоящему времени не существует универсальной методики ДНК-идентификации земляники садовой, на молекулярном уровне изучено ограниченное количество сортов. В перспективе портфолио номенклатурных стандартов могут быть пополнены генетическими паспортами этих сортов, для этого растительный материал для исследования должен быть отобран с тех же растений, которые использовали для создания номенклатурных стандартов.

Кроме этого, по правилам номенклатурных стандартов оформлены, зарегистрированы и влиты в Основной фонд Гербария ВИР гербарные образцы четырех элитных форм земляники (‘Альтаир’, ‘Бова’, ‘Италмас’, ‘Ярославна’). После оформления авторских документов на сорта эти образцы могут быть назначены в качестве номенклатурных стандартов.

Заключение. В публикации обнародованы номенклатурные стандарты 8 сортов земляники селекции Свердловской селекционной станции садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. В результате проведённого исследования загербаризированы, оформлены, зарегистрированы в БД «Гербарий ВИР» и переданы на хранение в Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR): 8 образцов номенклатурных стандартов в количестве 8 листов (типовой фонд) – ‘Акварель’ (WIR-108162), ‘Алтын’ (WIR-108163), ‘Виола’ (WIR-108166), ‘Гейзер’ (WIR-108167), ‘Даренка’ (WIR-108168), ‘Дуэт’ (WIR-108169), ‘Торпеда’ (WIR-108171), ‘Форсаж’ (WIR-108172); 4 образца в количестве 4 листов элитных форм (основной фонд) – ‘Альтаир’ (WIR-108164), ‘Бова’, (WIR-108165), ‘Италмас’ (WIR-108170), ‘Ярославна’ (WIR-108173).

Список литературы

1. Котов Л. А., Нащекина А. С. Свердловская опытная станция садоводства. Свердловск, 1975. С. 3–4.

2. Невоструева Е. Ю., Чеботок Е. М. Результативность селекции основных ягодных культур на Среднем Урале. Современное садоводство. 2023;(3):1–10. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=54955508 EDN: CARBVV

3. Богданова И. И., Демин Н. С., Нащекина А. С. Свердловской селекционной станции садоводства – 70 лет. Перспективы северного садоводства на современном этапе. Екатеринбург, 2005. С. 5–32.

4. Богданова И. И. Хозяйственно-биологическая характеристика новых сортов земляники на Среднем Урале. Аграрный вестник Урала. 2012;(1(93)):70–72. Режим доступа: https://elibrary.ru/pakiqp EDN: PAKIQP

5. 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

6. Невоструева Е. Ю., Андреева Г. В. Источники устойчивости к фитофторозной кожистой гнили земляники для Среднего Урала. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023;53(3):80–85. DOI: https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-3-9 EDN: XITMZF

7. Макаренко С. А., Савин Е. З., Ильин В. С., Котов Л. А., Слепнева Т. Н., Чеботок Е. М., Тарасова Г. Н., Невоструева Е. Ю., Евтушенко Н. С., Фазлиахметов Х. Н., Мережко О. Е., Гасымов Ф. М. Исакова М. Г., Тележинский Д. Д., Лёзин М. С., Нигматзянов Р. А., Старцева Н. Ю., Тихонова М. А., Богданова И. И., Иванова Е. А. Помология Урала: сорта плодовых, ягодных культур и винограда. М.: Наука, 2022. С. 269–282.

8. Brickell C. D., Alexander C., Cubey J. J., David J. C., Hoffman M. H. A., Leslie A. C., Malécot V., Jin X. B. International code of nomenclature for cultivated plants. Scripta Horticulturae. 2016;18(Ed. 9.):1–27. URL: https://www.ishs.org/sites/default/files/static/ScriptaHorticulturae_18.pdf

9. Международный кодекс номенклатуры культурных растений. Часть III–VI, Приложение I–IX. Пер. с англ. И. Г. Чухина, С. Р. Мифтахова, В. И. Дорофеев. *Vavilovia*. 2022;5(1):41–70. DOI: https://doi.org/10.30901/2658-3860-2022-1-41-70 EDN: MWMHVV

10. Гавриленко Т. А., Чухина И. Г. Номенклатурные стандарты современных российских сортов картофеля, хранящиеся в гербарии ВИР (WIR): новые подходы к регистрации сортового генофонда в генбанках. Биотехнология и селекция растений. 2020;3(3):6–17. DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-3-o2 EDN: WERDAW

11. Covan C. L., Simpson D., Johnson A. W., Tobutt K. R., Sargent D. J. A reliable multiplexed microsatellite set for genotyping *Fragaria* and its use in a survey of 60 *F.*×*ananassa* cultivars. Molecular Breeding. 2008;22(4):649–661. DOI: https://doi.org/10.1007/s11032-008-9206-2

12. Brunings A. M., Moyer C., Peres N. A., Folta K. Implementation of simple sequence repeat markers to genotype Florida strawberry varieties. Euphytica. 2010;173(1):63–75. DOI: https://doi.org/10.1007/s10681-009-0112-4

13. Межнина О. А., Урбанович О. Ю. Идентификация сортов земляники садовой (*Fragaria ananassa*) с использованием SSR-маркеров. Молекулярная и прикладная генетика. 2016;20:37–45. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=28792223 EDN: YGBOLX

Reference

1. Kotov L. A., Nashchekina A. S. Sverdlovsk Experimental Horticulture Station. Sverdlovsk, 1975. pp. 3–4.

2. Nevostrueva E. Yu., Chebotok E. M. Effectiveness of breeding of main berry crops in the middle Urals. *Sovremennoe sadovodstvo* = Cotemporary horticulture. 2023;(3):1–10. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54955508

3. Bogdanova I. I., Demin N. S., Nashchekina A. S. Sverdlovsk Horticulture Breeding Station is 70 years old. Prospects for northern gardening at the present stage. Ekaterinburg, 2005. pp. 5–32.

4. Bogdanova I. I. Economic-biological characteristic of a new variety of strawberry in the middle Urals. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2012;(1(93)):70–72. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/pakiqp

5. 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

6. Nevostrueva E. Yu., Andreeva G. V. Sources of strawberry resistance to late blight leathery rot for the Middle Urals. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2023;53(3):80–85. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-3-9

7. Makarenko S. A., Savin E. Z., Ilin V. S., Kotov L. A., Slepneva T. N., Chebotok E. M., Tarasova G. N., Nevostrueva E. Yu., Evtushenko N. S., Fazliakhmetov Kh. N., Merezhko O. E., Gasymov F. M. Isakova M. G., Telezhinskiy D. D., Lezin M. S., Nigmatzyanov R. A., Startseva N. Yu., Tikhonova M. A., Bogdanova I. I., Ivanova E. A. Pomology of the Urals: cultivars of fruit, berry crops and grapes. Moscow: *Nauka*, 2022. pp. 269–282.

8. Brickell C. D., Alexander C., Cubey J. J., David J. C., Hoffman M. H. A., Leslie A. C., Malécot V., Jin X. B. International code of nomenclature for cultivated plants. Scripta Horticulturae. 2016;18(Ed. 9.):1–27. URL: https://www.ishs.org/sites/default/files/static/ScriptaHorticulturae_18.pdf

9. International code of nomenclature for cultivated plants. Division III-VI, appendix I-IX. *Per. s angl.* I. G. Chukhina, S. R. Miftakhova, V. I. Dorofeev. *Vavilovia*. 2022;5(1):41–70. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2658-3860-2022-1-41-70

10. Gavrilenko T. A., Chukhina I. G. Nomenclatural standards of modern Russian potato cultivars preserved at the VIR herbarium (WIR): A new approach to cultivar genepool registration in a genebank. *Biotekhnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2020;3(3):6-17. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-3-o2

11. Covan C. L., Simpson D., Johnson A. W., Tobutt K. R., Sargent D. J. A reliable multiplexed microsatellite set for genotyping *Fragaria* and its use in a survey of 60 *F.*×*ananassa* cultivars. Molecular Breeding. 2008;22(4):649–661. DOI: https://doi.org/10.1007/s11032-008-9206-2

12. Brunings A. M., Moyer C., Peres N. A., Folta K. Implementation of simple sequence repeat markers to genotype Florida strawberry varieties. Euphytica. 2010;173(1):63–75. DOI: https://doi.org/10.1007/s10681-009-0112-4

13. Mezhnina O. A., Urbanovich O. Yu. Identification of strawberry (*Fragaria ananassa*) using SSR-markers. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika*. 2016;20:37–45. (In Belarus). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=28792223

Сведения об авторах

Невоструева Елена Юрьевна, старший научный сотрудник, отдел селекции и сортоизучения плодовых и ягодных культур, Свердловская селекционная станция садоводства – структурное подразделение ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского, 112а, Екатеринбург, Российская Федерация, 620142, e-mail: sadovodnauka@mail.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0001-5077-1258**

✉ **Багмет Лариса Владимировна**, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник, отдел агроботаники и сохранения *in situ* генетических ресурсов растений, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», ул. Б. Морская, 42, 44, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0768-0056**, e-mail: lady.brodjaga2010@yandex.ru

Information about the authors

Elena Yu. Nevostrueva, senior researcher, Department of breeding and cultivar research of fruit and berry crops, Sverdlovsk Horticulture Breeding Station – structural division of Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112, bldg. A, Belinskogo Street, Yekaterinburg, 620142, Russian Federation, e-mail: sadovodnauka@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5077-1258**

✉ **Larisa V. Bagmet**, PhD in Biological Science, leading researcher, Department of agrobotany and *in situ* conservation of plant genetic resources, Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, Bolshaya Morskaya Str., St. Petersburg, Russian Federation, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0768-0056**, e-mail: lady.brodjaga2010@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ / AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.855–864
УДК 631.147+579.87

Бактеризация микрорастений картофеля *in vitro* ризобактерией *Streptomyces* повышает эффективность культивирования

© 2024. И. Г. Широких[1]✉, С. Э. Мокрушина[1,2], Р. И. Абубакирова[1]
[1]*ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация*
[2]*ФГБОУ ВО «Вятский Государственный Университет», г. Киров, Российская Федерация*

В целях более эффективного выращивания высококачественного семенного картофеля необходимо постоянно совершенствовать технологии культивирования и ускоренного размножения in vitro материала в асептических условиях. В проведенном исследовании установлено, что оптимизировать условия культивирования in vitro материала на этапах клонирования позволяет инокуляция местным штаммом Streptomyces minoensis KP-10, который был выделен из ризосферы Urtica dioica L. с помощью селективного приема. Штамм характеризуется фитостимулирующей активностью, способностью к синтезу ауксинов (18,7±1,0 мкг/мл), высокой радиальной скоростью роста (65,7±8,8 мкм/ч) и колонизирующей способностью (10^5–10^8 КОЕ/г в зависимости от вида растительной ткани). В работе выявлен оптимальный способ инокуляции, предусматривающий последовательное обмакивание микрочеренков в бактериальную суспензию, и определен титр бактериальной суспензии (10^5 КОЕ/мл), способствующий увеличению коэффициента размножения перспективного селекционного номера 172-13 и сорта Пранса. Выраженность эффектов бактеризации зависела от генотипических особенностей картофеля. Инокуляция штаммом S. minoensis KP-10 позволила снизить долю морфозов среди in vitro материала селекционного номера 172-13 в 2,5 раза. Разработанные приемы способны повысить эффективность выращивания биоматериала картофеля в процессе ускоренного клонального размножения.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., *Streptomyces sp.* KP-10, *in vitro материал, клональное размножение, инокуляция, фитостимуляция*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0005).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Широких И. Г., Мокрушина С. Э., Абубакирова Р. И. Бактеризация микрорастений картофеля *in vitro* ризобактериями *Streptomyces* повышает эффективность культивирования. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):855–864. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.855-864

Поступила: 26.08.2024 Принята к публикации: 10.10.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Bacterization of potato micro-plants in vitro by *Streptomyces* rhizobacteria increases the efficiency of cultivation

© 2024. Irina G. Shirokikh[1]✉, Svetlana E. Mokrushina[1,2], Roza I. Abubakirova[1]
[1]*Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation*
[2]*Vyatka State University, Kirov, Russian Federation*

In order to grow high-quality seed potatoes more efficiently, it is necessary constantly to improve cultivation technologies and accelerated reproduction of in vitro material under aseptic conditions. During the research it has been established that inoculation with a local strain of Streptomyces minoensis KR-10, which was isolated from the rhizosphere of Urtica dioica L. with the help of selective reception, allows to optimize the conditions of in vitro cultivation of the material at the cloning stages. The strain is characterized by phytostimulating activity, the ability to synthesize auxins (18.7±1.0 μg/ml), high radial growth rate (65.7±8.8 μm/h) and colonizing ability (10^5–10^8 CFU/g depending on the type of plant tissue). The optimal inoculation method was identified, which provides for sequential dipping of micro gears into a bacterial suspension, and the titer of the bacterial suspension (10^5 CFU/ml) was determined, contributing to an increase in the reproduction coefficient of the promising breeding number 172-13 and the 'Pransa' cultivar. The severity of bacterization effects depended on the genotypic

characteristics of potatoes. Inoculation with S. minoensis strain KR-10 made it possible to reduce the proportion of morphoses among in vitro material number 172-13 by 2.5 times. The developed techniques are able to increase the efficiency of growing potato biomaterial in the process of accelerated clonal reproduction.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., *Streptomyces sp. KR-10, in vitro material, clonal micropropagation, inoculation, phytostimulation*

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 Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0005).

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: Shirokikh I. G., Mokrushina S. E., Abubakirova R. I. Bacterization of potato microgrowths in vitro by *Streptomyces* rhizobacteria increases the efficiency of cultivation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):855–864. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.855-864

Received: 26.08.2024 Accepted for publication: 10.10.2024 Published online: 30.10.2024

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является четвертой после кукурузы, пшеницы и риса культурой по распространенности во всем мире [1]. Эта важная продовольственная культура восприимчива к различным грибным, бактериальным и вирусным инфекциям, поражение которыми в отдельные годы приводит к потере до 60 % от всего урожая картофеля [2]. Селекция на устойчивость к возбудителям болезней и химические средства защиты не могут решить эту проблему в полной мере. Урожайность картофеля напрямую зависит от качества посадочного материала. В современной практике для выращивания высококачественного семенного картофеля используются различные технологии ускоренного размножения *in vitro* материала [3]. При клональном микроразмножении *in vitro* растений на этапах клонирования возникает необходимость повысить эффективность культивирования. Из литературы известно, что искусственная бактеризация может стимулировать рост картофеля *in vitro*, способствовать адаптации к условиям *ex vitro*, а также увеличивать выход миниклубней в первом клубневом поколении [4]. Показано, что чистые культуры ассоциативных грамотрицательных ризобактерий *Azospirillum baldaniorum* Sp245 и *Ochrobactrum cytisi* IPA7.2 обладают способностью стимулировать рост микрорастений картофеля в условиях *in vitro* и *ex vitro* [5, 6, 7, 8]. Стимулирующие эффекты в условиях *in vitro* в отношении морфогенеза, ризогенеза и активности протекания процессов фотосинтеза отмечали в микрорастениях картофеля под влиянием нанесения на питательную среду вторичных метаболитов штаммов бактерий *Bacillus cereus* 9-08-CH9 и *Achromobacter spanius* 10-50TS2, выделенных из кернов многолетнемерзлых пород [9].

Стимулировать рост картофеля в культуре *in vitro*, наряду с грамотрицательными ризосферными бактериями и вторичными бактериальными метаболитами, могут грамположительные мицелиальные бактерии рода *Streptomyces*. Как симбионты растений, стрептомицеты, за исключением возбудителей парши *S. scabia* и еще нескольких видов, продуцирующих такстомин [10], в целом характеризуются положительными эффектами [11, 12]. В предыдущих наших исследованиях было показано, что выделенные из ризосферы *Solánum lycopérsicum* L. и *Nicotiana tabacum* L. штаммы *Streptomyces* spp. успешно колонизируют ткани и способствуют усилению роста микрорастений в *in vitro* культуре и после их высадки на субстрат [13, 14]. Положительные эффекты от инокуляции *in vitro* материала прослеживались как в чистых культурах стрептомицетов, так и в ассоциации с *Agrobacterium tumefaciens* [15], а также на фоне заражения растений бактерией *Clavibacter michiganensis* – возбудителем кольцевой гнили картофеля [16].

Цель исследований – разработка способа стимуляции роста и повышения коэффициента размножения *in vitro* микрорастений картофеля на основе бактеризации новым штаммом ризобактерий *Streptomyces minoensis* КР-10.

Научная новизна – на основе нового полученного из ризосферы *Urtica dioica* L. штамма *S. minoensis* КР-10 с высокой радиальной скоростью роста и колонизирующей способностью, продуцирующего ауксины и обладающего фитостимулирующим действием, разработаны приемы, способные повысить эффективность выращивания исходного материала картофеля.

Материал и методы. *Получение, культивирование и изучение свойств бактериального микроассоцианта*. В работе использовали бактериальный изолят КР-10 из ризосферы *Urtica dioica* L., полученный на казеин-глицериновом агаре (КГА) после прогревания образца

при 70 °С в течение 4 час для ограничения роста немицелиальных бактерий. После процедуры очистки изолят КР-10 хранили на скошенном овсяном агаре [17] при 4 °С. На стандартных диагностических средах ISP (International Streptomyces Project) изолят КР-10 имел культурально-морфологические признаки (нефрагментированный мицелий, длинные цепочки спор в воздушном мицелии и отсутствие спор на субстратном мицелии), характерные для представителя серии Cinereus Violaceus рода *Streptomyces*. В соответствии с ключом Гаузе [17] его предварительно отнесли к виду *S. minoensis*.

Оценку фиторегуляторного действия *S. minoensis* КР-10 проводили в водно-бумажной культуре на семенах мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Приокская. Обработанные жидкой культурой семена раскладывали в чашки Петри на поверхность увлажненной фильтровальной бумаги, помещая в каждую чашку по 10 семян, и проращивали при температуре 20±2 °С в течение 6 суток. Повторность в опыте трехкратная. Контролем служили семена, замоченные в воде, и обработанные в растворе индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) с концентрацией 1 мкг/мл. Учитывали всхожесть семян и морфометрические показатели проростков.

Способность продуцировать ауксины определяли с реактивом Сальковского [18] на спектрофотометре UVmini-1240 (SHIMADZU, Япония) при длине волны 540 нм. Для построения калибровочного графика использовали разведения стандартного раствора ИУК (Fluka, Швейцария). Контролем служила среда без инокуляции, но с добавлением реактива. В качестве предшественника индольных соединений в жидкую среду для культивирования бактерии [19] добавляли L-триптофан («ДИАЭМ», Индия) в количестве 100 мкг/мл. Инкубировали при комнатной температуре (20±2 °С) и постоянном встряхивании (180 об/мин). Для анализа использовали супернатант жидкой культуры *S. minoensis* КР-10 на 5-е сутки роста. Измерения проводили в трех биологических повторностях.

Для определения радиальной скорости роста *S. minoensis* КР-10 проводили посев уколом в агаризованную среду Гаузе 1 в девяти повторениях (по три на чашку). Скорость роста рассчитывали по формуле:

$$Kr = (D_2 - D_1) / (t_2 - t_1),$$

где Kr – радиальная скорость роста, мкм/ч; D_1 и D_2 – диаметр колоний (мкм) в начальный (t_1) и конечный (t_2) моменты времени измерения соответственно (час)[1].

Способность штамма колонизировать ткани картофеля оценивали количественно, определяя численность пропагул стрептомицета в корнях, листьях, верхней и нижней части побега инокулированных микрорастений. Для этого производили посев из разведений тканевых гомогенатов различных органов на агаризированную среду Гаузе 1 в трехкратной повторности. Учет вырастающих при 28 °С колоний стрептомицета проводили на 7-е сутки культивирования. С учетом сухой массы, взятой для посева навески вычисляли количество КОЕ в 1 г растительной ткани.

Культивирование микрорастений картофеля в условиях in vitro. Для бактеризации использовали микрорастения двух генотипов картофеля – перспективного селекционного номера 172-13 и сорта Пранса. Асептически полученные микрочеренки с одним листом и почкой помещали на свежую безгормональную питательную среду МС [20] с добавлением 20 г/л сахарозы и культивировали при температуре 24±2 °С, освещенности 4 тыс. кЛк, фотопериоде 16 ч.

Инокуляция микрочеренков штаммом бактерии. Культуру *S. minoensis* КР-10 выращивали в жидкой среде Гаузе 1 [17] при температуре 24±2 °С на качалке с интенсивностью перемешивания 120 об/мин до конца экспоненциальной фазы роста (7 сут). Полученную бактериальную суспензию разводили для инокуляции в 10 и 100 раз стерильной водой. Итоговая концентрация клеток бактерий в инокулюме составила 10^5 и 10^4 КОЕ/мл.

Инокуляцию проводили двумя способами – путем обмакивания микрочеренка в жидкую суспензию бактерии (титр $2{,}5\times10^4$ КОЕ/мл) и путем капельного нанесения суспензии (10 мкл) на лист микрочеренка. Контролем служили необработанные растения. Инкубацию осуществляли в течение 8 недель. В каждом варианте инкубировали не менее 15 растений. Оценивали количество аномальных и нормально развитых растений, их морфометрические параметры: длину корней, мм; высоту побега, мм; количество листьев; число междоузлий на побеге, шт.; сухую биомассу растения, г. Рассчитывали долю растений с морфологическими аномалиями и коэффициент размножения исследуемых генотипов картофеля.

[1]Методы почвенной микробиологии и биохимии. Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 224 с.

При статистической обработке данных подсчет средних значений и стандартных отклонений выполняли в программе Microsoft Excel 2007. Оценку различий между сравниваемыми вариантами проводили методом непараметрической статистики с использованием рангового критерия Крускала-Уоллиса (H). Вычисление значений H осуществляли с помощью онлайн-калькулятора Stats.blue[2]. Полученные данные H_p сравнивали с табличными значениями χ^2 для числа степеней свободы, на единицу меньшего числа сравниваемых вариантов. Различия между вариантами считали существенными, если вычисленное значение H было больше табличных значений χ^2, соответствующих определенному уровню значимости.

Результаты и их обсуждение. *Характеристика свойств бактериального ассоцианта*. Ризосферный штамм *S. minoensis* КР-10 в тесте на фиторегуляторную активность способствовал, по сравнению с контролем без инокуляции и вариантом с обработкой семян раствором, содержащим 1 мкг/мл ИУК, увеличению линейных размеров проростков пшеницы. Всхожесть семян и сухая биомасса проростков на этом этапе онтогенеза изменились по сравнению с контролем несущественно (табл. 1).

Таблица 1 – **Всхожесть и морфометрические показатели проростков пшеницы при обработке семян штаммом *S. minoensis* КР-10 /**
Table 1 – **Germination and morphometric parameters of wheat seedlings during seed treatment with *S. minoensis* KR-10 strain**

Вариант / Variant	*Всхожесть, % / Germination, %*	*Длина корня, мм / Root length, мм*	*% от контроля / % of the control*	*Высота побега, мм / Shoot height, mm*	*% от контроля / % of the control*	*Сухая масса растения / Plant dry mass, g*	*% от контроля / % of the control*
Контроль / Control	53±20,8	137±52,5**	-	100,9±33,3*	-	0,009±0,003	-
1 мкг/мл ИУК / 1 mcg/ml of IAA	67±8,2	132,1±32,2**	96	111,5±26,1*	110	0,011±0,002	122
КР-10	57±15,3	161,1±33,2**	118	122,2±26,6*	121	0,010±0,004	111

Примечания: различия между вариантами достоверны: *при уровне значимости 0,1; Hp = 5,093; χ^2 = 4,605; ** при уровне значимости 0,025; Hp = 8,047; χ^2 = 7,378 /

Notes: the differences between the variants are significant: * with a significance level of 0.1; Hp = 5.093; χ^2 = 4.605; ** with a significance level of 0.025; Hp = 8.047; χ^2 = 7.378

В жидкой среде с добавлением 100 мкг/мл L-триптофана штамм *S. minoensis* КР-10 продуцировал ауксины в количестве 18,7±1,0 мкг/мл. На агаризованной среде Гаузе 1 штамм характеризовался высокой радиальной скоростью роста – 65,7±8,8 мкм/ч. Оценка способности данного штамма колонизировать растительную ткань картофеля показала, что в результате инокуляции микрочеренков сорта Пранса пропагулы *S. minoensis* КР-10 обнаруживались в корнях, стебле и листьях микрорастений в различном количестве (рис. 1).

Наибольшей заселенностью бактериями отличались корни микрорастений $(3,0±0,14) \times 10^8$ и нижний сегмент побега $(9,4±0,3) \times 10^8$ КОЕ/г. В верхней части побега количество пропагул стрептомицета не превышало $(6,8±1,01) \times 10^6$ КОЕ/г, а в листьях снова увеличивалось, варьируя в пределах от $(1,9±0,14) \times 10^7$ до $(5,3±0,89) \times 10^7$ КОЕ/г. Эти результаты свидетельствуют о формировании ассоциативной связи между клетками микрорастения и мицелиальной бактерией.

По совокупности проявленных свойств штамм *S. minoensis* КР-10 был выбран в качестве микроассоцианта для бактеризации картофеля в культуре *in vitro*.

Разработка элементов техники инокуляции картофеля для повышения коэффициента размножения. Микрорастения картофеля перспективного селекционного номера 172-13 отличались от таковых сорта Пранса более высокой частотой появления морфологических аномалий (морфозов), что при клональном микроразмножении этого генотипа вызвало определенные сложности: количество пригодных для пассирования микрочеренков не всегда соответствовало числу междоузлий на побеге. Значительная доля морфологически аномальных растений, возможно, была обусловлена

[2]The Kruskal-Wallis Test. [Электронный ресурс]. URL: https://stats.blue/Stats_Suite/kruskal_wallis_test.html (дата обращения: 07.08.2024).

последействием экзогенных фитогормонов или недостаточной продолжительностью периода адаптации микрорастений к гнотобиотическим условиям. Исходя из этого, с использованием микрорастений селекционного номера 172-13, решали следующие задачи: а) определение оптимального способа инокуляции микрочеренков; б) определение оптимальной плотности инокулюма бактерий.

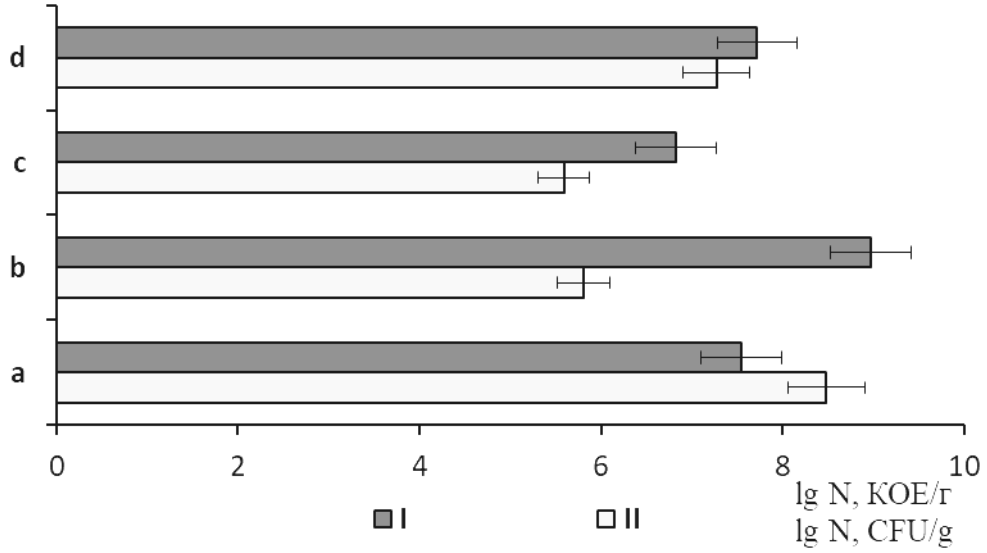


Рис. 1. **Количество пропагул *S. minoensis* КР-10 (N) в корнях (a), нижнем сегменте побега (b), верхнем сегменте побега (c), листьях (d) микрорастений картофеля сорта Пранса в возрасте 7 недель. Титр инокулята, КОЕ/мл: 10^4 (I);10^5 (II) /**

Fig. 1. **The number of propagules *S. minoensis* KR-10 (N) in the roots (a), lower segment of the shoot (b), upper segment of the shoot (c), leaves (d) of 'Pransa' potato micro-plants at the age of 7 weeks. Inoculate titer, CFU/ml: 10^4 (I);10^5 (II)**

Определение оптимального способа инокуляции. При сравнении эффектов двух способов инокуляции – обмакивание микрочеренка в бактериальную суспензию и капельное нанесение суспензии на лист микрочеренка – учитывали морфометрические показатели микрорастений. В вариантах с обмакиванием в бактериальную суспензию наблюдали статистически значимое увеличение высоты побега, количества листьев и междоузлий, сухой биомассы растений, более выраженное при использовании титра бактерий 10^4 (рис. 2). В этих же вариантах доля растений с морфозами сократилась до 30 и 20 % (с 50 % в контроле), при капельном нанесении суспензии, она, напротив, увеличилась до 60–70 %, а высота побега существенно снизилась по сравнению с контролем. Хотя при капельном способе инокуляции суспензией с титром бактерий 10^4 количество листьев и сухая биомасса растений в среднем не уступали варианту с обмакиванием черенка, линейные размеры микрорастений при этом были значительно меньше.

Таким образом, более предпочтительным способом бактеризации картофеля явилось погружение микрочеренка в клеточную суспензию *S. minoensis* КР-10 и в дальнейшей работе именно его применяли. Данный прием способствовал увеличению большинства (за исключением длины корня) морфометрических показателей и коэффициента размножения селекционного номера 172-13, а также сокращению доли растений с различными морфозами.

Определение оптимальной плотности инокулюма. Морфометрические показатели микрорастений селекционного номера 172-13, инокулированных суспензиями *S. minoensis* КР-10 разной плотности (10^4 и 10^5 КОЕ/мл), представлены в таблице 2.

В варианте с использованием титра бактериальной суспензии 10^5, спустя 6 недель после инокуляции, наблюдали увеличение высоты побега в среднем на 48 %, количества листьев – на 33 %, сухая масса микрорастения на 30 % превысила показатель контрольного варианта. Количество кондиционных (пригодных для пассирования) микрочеренков, полученных от одного инокулированного растения (7,1±1,91 шт.), в среднем на 77 % было больше, чем в контроле без инокуляции (4,0±1,10 шт.). В результате коэффициент размножения селекционного номера 172-13 вырос с 1:4 в контроле

до 1:7 в варианте с инокуляцией *Streptomyces* sp. КР-10 (титр 10^5). Использование для инокуляции суспензии с меньшим титром – 10^4 также способствовало увеличению морфометрических показателей картофеля и среднего количества микрочеренков (4,9±1,58 шт.) на одно растение, но коэффициент клонального размножения в этом случае не превысил 1:5. Статистическая значимость различий между вариантами оценивалась на уровне 0,001 (H = 15,496; χ^2 = 13,816).

Зависимость морфометрических показателей микрорастений сорта Пранса от титра инокулята была выражена в меньшей степени, чем у селекционного номера 172-13 (табл. 3).

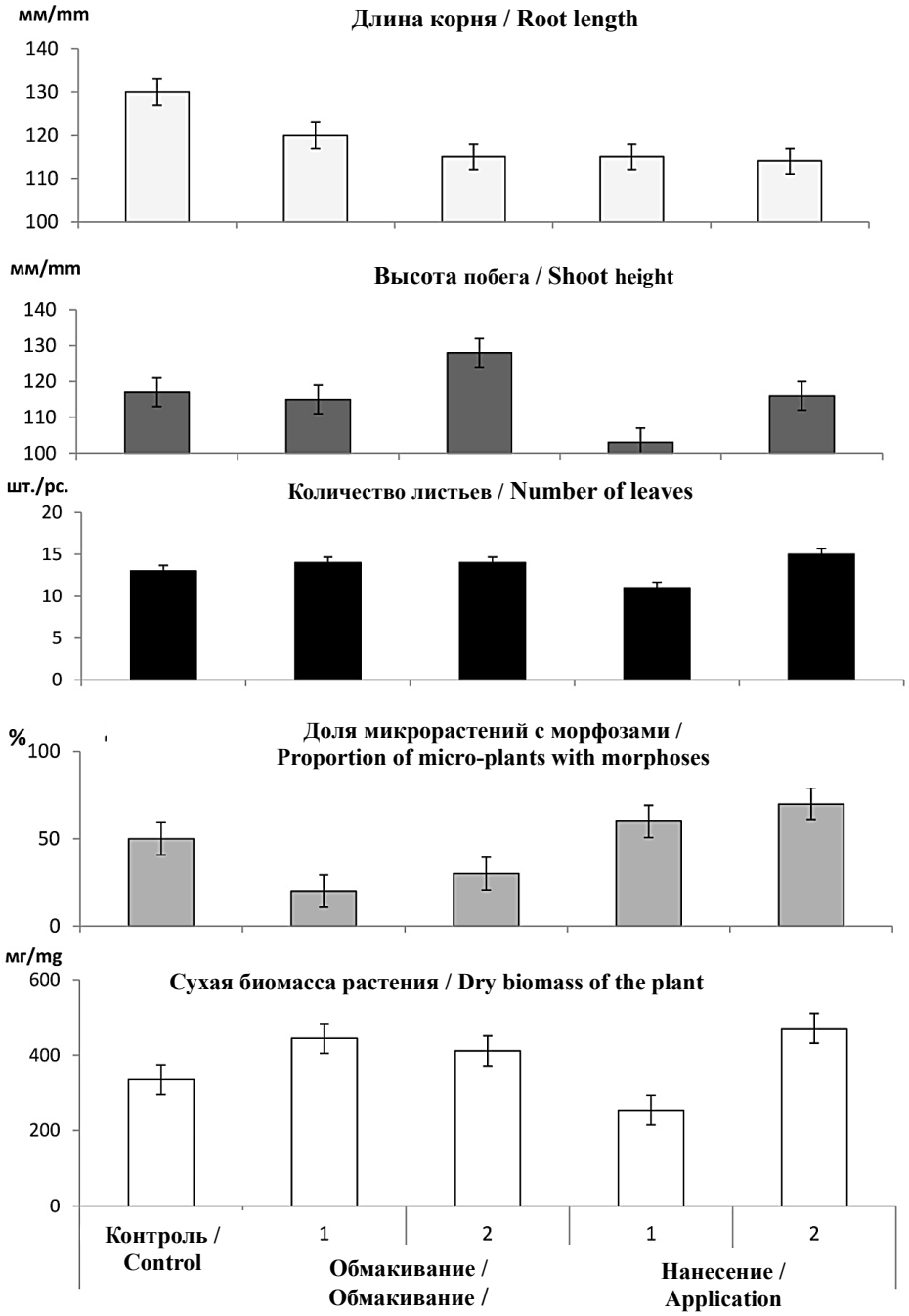


Рис. 2. **Изменение морфометрических показателей микрорастений картофеля селекционного номера 172-13 при разных способах инокуляции штаммом *S. minoensis* КР-10. Титр инокулята, КОЕ/мл: 10^5 (1); 10^4 (2) /**

Fig. 2. **Changes in morphometric parameters of potato micro-plants of breeding number 172-13 by different methods of inoculation with *S. minoensis* strain KR-10. Inoculate titer, CFU/ml: 10^5 (1); 10^4 (2)**

Таблица 2 – **Морфометрические показатели микрорастений картофеля селекционного номера 172-13 после инокуляции суспензиями *S. minoensis* КР-10 разной плотности /**
Table 2 – **Morphometric indicators of potato micro-plants of breeding number 172-13 after inoculation with suspensions of *S. minoensis* KR-10 of different density**

Вариант / Variant		*Высота побега, мм / Shoot height, mm*	*Число листьев, шт. / Number of leaves, pcs.*	*Сухая масса растения, г / Plant dry mass, g*
Контроль без инокуляции / Control without inoculation		50,8±11,07*	8,2±1,61**	0,035
Инокуляция *S. minoensis* КР-10 с титром суспензии, КОЕ/мл / Inoculation of *S. minoensis* KR-10 with suspension titer, CFU/ml	10^4	55,8±13,72*	8,4±1,56**	0,037
	10^5	75,1±16,13*	10,9±1,87**	0,046

Примечания: Различия между вариантами достоверны: *при уровне значимости 0,001: Hp = 14,439; χ^2 = 13,816; ** 0,001: Hp = 17,042; χ^2 = 13,816 /

Notes: The differences between the variants are significant: *at a significance level of 0.001: Hp =14.439; χ^2 = 13.816; ** 0.001: Hp = 17.042; χ^2 = 13.816.

Таблица 3 – **Морфометрические показатели микрорастений картофеля сорта Пранса после инокуляции суспензиями *S. minoensis* КР-10 разной плотности /**
Table 3 – **Morphometric indicators of 'Pransa' cultivar potato micro-plants after inoculation with *S. minoensis* KR-10 suspensions of different density**

Вариант / Variant		*Длина корня, мм / Root length, mm*	*Высота побега, мм / Shoot height, mm*	*Число листьев, шт. / Number of leaves, pcs.*	*Сухая масса растения, г / Plant dry mass, g*
Контроль без инокуляции / Control without inoculation		167±42,8*	64,6±10,27	10,3±1,54	0,050
Инокуляция *S. minoensis* КР-10 с титром суспензии, КОЕ/мл / Inoculation of *S. minoensis* KR-10 with suspension titer, CFU/ml	10^4	114±31,9*	59,4±17,21	9,9±1,09	0,052
	10^5	113±29,7*	66,4±10,34	10,5±1,39	0,049

*Различия между вариантами достоверны при уровне значимости 0,001: Hp = 14,978; χ^2 = 13,816 /
*The differences between the variants are significant at a significance level of 0.001: Hp = 14.978; χ^2 = 13.816.

Бактеризация штаммом *S. minoensis* КР-10 сорта Пранса не сопровождалась существенными изменениями линейных размеров и облиственности микрорастений, которые практически не отличались от контроля без инокуляции. Вместе с тем, количество кондиционных микрочеренков от одного инокулированного растения (4,7±0,96 и 5,1±1,07 шт.) увеличилось по сравнению с контролем (4,1±0,77 шт.) в вариантах с титрами инокулята 10^4 и 10^5 в среднем на 14,6 и 24,3 % соответственно. В последнем случае коэффициент размножения сорта Пранса возрос почти на четверть и составил 1:5. При этом статистическая значимость различий между вариантами оценивалась на уровне 0,05 (H = 6,171; χ^2 = 5,991). Это указывает на необходимость целевого подбора штаммов для бактеризации конкретных генотипов картофеля и проведения дальнейших исследований, направленных на повышение эффективности культивирования и микроклонального размножения *in vitro* материала картофеля.

Заключение. Результаты проведенных исследований показали, что бактеризация местным штаммом ризобактерии *S. minoensis* КР-10 микрорастений картофеля на этапе клонального микроразмножения способствует повышению эффективности его культивирования *in vitro*. Штамм *S. minoensis* КР-10 способен колонизировать растительные ткани, отличается фитостимулирующей активностью, способностью к синтезу ауксинов, высокой радиальной скоростью роста. Для данного штамма экспериментально определены оптимальный способ инокуляции и титр бактериальной суспензии, применение которых способствовало увеличению коэффициентов размножения перспективного селекционного номера 172-13 и сорта Пранса. Кроме того, у селекционного номера 172-13 в результате инокуляции отмечено снижение доли

микрорастений с морфозами и возрастание таких морфометрических показателей, как высота побега, количество листьев и междоузлий, сухая масса микрорастений. Зависимость эффективности инокуляции от генотипических особенностей картофеля обусловливает необходимость изучения эффектов бактеризации в дальнейшем на более широком наборе генотипов. Логическим продолжением работы явится также оценка инокулированных *in vitro* растений на этапах их адаптации и выращивания в условиях *ex vitro*.

Список литературы

1. Liu Z., Coulter J. A., Li Y., Zhang X., Meng J., Zhang J., Liu Y. Genome-wide identification and analysis of the Q-type C2H2 gene family in potato (*Solanum tuberosum* L.). International Journal of Biological Macromolecules. 2020;153:327–340. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.022

2. Симаков Е. А., Анисимов Б. В., Митюшкин А. В., Журавлев А. А., Митюшкин Ал-др. В., Гайзатулин А. С., Семенов В. А., Зебрин С. Н., Жук О. Ю. Новые перспективные сорта картофеля для различного целевого использования в товарном производстве. Картофель и овощи. 2024;(2):35–39. DOI: https://doi.org/10.25630/PAV.2024.27.20.004 EDN: JFYYEF

3. Семчук Н. Н., Овэс Е. В., Балун О. В., Гладких С. Н. Технология получения и ускоренного размножения здорового посадочного материала растений картофеля (*Solanum tuberosum*). АгроЭкоИнженерия. 2023;(1(114)):92–103. DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-1114-92-103 EDN: HZNFBQ

4. Oswald A., Calvo V. P., Davila D. Z., Pineda J. A. Evaluating soil rhizobacteria for their ability to enhance plant growth and tuber yield in potato. Annals of Applied Biology. 2010;157(2):259–271. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00421.x

5. Tkachenko O. V., Evseeva N. V., Boikova N. V., Matora L. Y., Burygin G. L., Lobachev Y. V., Shchyogolev S. Y. Improved potato microclonal reproduction with the plant-growth promoting rhizobacteria *Azospirillum*. Agronomy for Sustainable Development. 2015;35:1167–1174. DOI: https://doi.org/10.1007/s13593-015-0304-3

6. Burygin G. L., Kargapolova K. Y., Kryuchkova Y. V., Avdeeva E. S., Gogoleva N. E., Ponomaryova T. S., Tkachenko O. V. *Ochrobactrum cytisi* IPA7.2 promotes growth of potato microplants and is resistant to abiotic stress. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2019;35(4):55. DOI: https://doi.org/10.1007/s11274-019-2633-x

7. Kargapolova K. Y., Burygin G. L., Tkachenko O. V., Evseeva N. V., Pukhalskiy Y. V., Belimov A. A. Effectiveness of inoculation of *in vitro* grown potato microplants with rhizosphere bacteria of the genus *Azospirillum*. Plant Cell Tissue and Organ Culture. 2020;141:351–359. DOI: https://doi.org/10.1007/s11240-020-01791-9

8. Каргаполова К. Ю., Ткаченко О. В., Бурыгин Г. Л., Евсеева Н. В., Широков А. А., Матора Л. Ю., Щёголев С. Ю. Повышение эффективности клонального микроразмножения картофеля при инокуляции ризосферными бактериями *Azospirillum baldaniorum* Sp245 и *Ochrobactrum cytisi* IPA7.2. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022;26(5):422–430. DOI: https://doi.org/10.18699/VJGB-22-52 EDN: CMNBUZ

9. Ренёв Н. О., Мальчевский В. А., Субботин А. М., Петров С. А. Рост и развитие микрорастений картофеля *in vitro* под влиянием метаболитов бактерий, выделенных из многолетнемерзлых пород. Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023;28(3):435–442. DOI: https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-3-435-442 EDN: BXXRPA

10. Eid A. R., Bayoumi S. R., El-Argawy E., Ghozlan M. H. The Role of Thaxtomin A and Necrosis Protein in Virulence of *Streptomyces scabies* that Cause Potato Common Scab Disease. Alexandria Science Exchange Journal. 2022;43(2):289–299. DOI: https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2022.242243

11. Vurukonda S. S. K. P., Giovanardi D., Stefani E. Plant Growth Promoting and Biocontrol Activity of *Streptomyces* spp. as Endophytes. International Journal of Molecular Sciences. 2018;19(4):952. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms19040952

12. Nazari M. T., Schommer V. A., Braun J. C. A., dos Santos L. F., Lopes S. T., Simon V. et al. Using *Streptomyces* spp. as plant growth promoters and biocontrol agents. Rhizosphere. 2023;27:100741. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100741

13. Назарова Я. И., Широких И. Г., Бакулина А. В., Баранова Е. Н., Ашихмина Т. Я. Идентификация двух ризосферных изолятов стрептомицетов и изучение *in vitro* их колонизирующей активности. Теоретическая и прикладная экология. 2019;(3):72–79. DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-3-072-079 EDN: BRUBMQ

14. Назарова Я. И., Бакулина А. В., Широких И. Г. Изучение влияния ризосферного штамма *Streptomyces* sp. ТК-5 на рост меристемного картофеля. Мелиорация почв для устойчивого развития сельского хозяйства: мат-лы научн.-практ. конф. Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 192–196. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=37651838 EDN: LNCLFF

15. Бакулина А. В., Назарова Я. И., Широких И. Г. Изучение колонизации меристемных растений картофеля ризосферным штаммом *Streptomyces flavogriseus* ТК-5 в монокультуре и в ассоциации с *Agrobacterium tumefaciens* СТ-1. IX Съезд общества физиологов растений России «Физиология растений – основа создания растений будущего». Казань, 2019. С. 54. DOI: https://doi.org/10.26907/978-5-00130-204-9-2019-54 EDN: LJZUWK

16. Бакулина А. В., Назарова Я. И., Широких И. Г. Изучение влияния *Streptomyces antimycoticus* 8Al3 на растения картофеля, зараженные бактерией *Clavibacter michiganensis* СММ 1519. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы VII Междунар. науч.-практ. конф. Киров: ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого, 2021. С. 293–297. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=46351650 EDN: FAPLAU

17. Гаузе Г. Ф., Преображенская Т. П., Свешникова М. А., Терехова Л. П., Максимова Т. С. Определитель актиномицетов. М.: Наука, 1983. 246 с.

18. Libbert E., Risch H. Interactions between plants and epiphytic bacteria regarding their auxin metabolism. Physiologia Plantarum. 1969;22(1):51–58. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1969.tb07840.x

19. Мерзаева О. В., Широких И. Г. Образование ауксинов эндофитными актинобактериями озимой ржи. Прикладная биохимия и микробиология. 2010;46(1):51–57. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=13044956 EDN: KZMAST

20. Murashige T., Skoog G. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum. 1962;15(3):473–497. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

References

1. Liu Z., Coulter J. A., Li Y., Zhang X., Meng J., Zhang J., Liu Y. Genome-wide identification and analysis of the Q-type C2H2 gene family in potato (*Solanum tuberosum* L.). International Journal of Biological Macromolecules. 2020;153:327–340. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.022

2. Simakov E. A., Anisimov B. V., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A., Mityushkin Al-dr. V., Gayzatulin A. S., Semenov V. A., Zebrin S. N., Zhuk O. Yu. New promising potato cultivars for various use in commercial production. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2024;(2):35–39. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.25630/PAV.2024.27.20.004

3. Semchuk N. N., Oves E. V., Balun O. V., Gladkikh S. N. Technology of obtaining and accelerated reproduction of healthy planting material of potato plants (*Solanum tuberosum*). *AgroEkoInzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2023;(1(114)):92–103. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-1114-92-103

4. Oswald A., Calvo V. P., Davila D. Z., Pineda J. A. Evaluating soil rhizobacteria for their ability to enhance plant growth and tuber yield in potato. Annals of Applied Biology. 2010;157(2):259–271.
DOI: https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00421.x

5. Tkachenko O. V., Evseeva N. V., Boikova N. V., Matora L. Y., Burygin G. L., Lobachev Y. V., Shchyogolev S. Y. Improved potato microclonal reproduction with the plant-growth promoting rhizobacteria *Azospirillum*. Agronomy for Sustainable Development. 2015;35:1167–1174. DOI: https://doi.org/10.1007/s13593-015-0304-3

6. Burygin G. L., Kargapolova K. Y., Kryuchkova Y. V., Avdeeva E. S., Gogoleva N. E., Ponomaryova T. S., Tkachenko O. V. *Ochrobactrum cytisi* IPA7.2 promotes growth of potato microplants and is resistant to abiotic stress. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2019;35(4):55. DOI: https://doi.org/10.1007/s11274-019-2633-x

7. Kargapolova K. Y., Burygin G. L., Tkachenko O. V., Evseeva N. V., Pukhalskiy Y. V., Belimov A. A. Effectiveness of inoculation of *in vitro* grown potato microplants with rhizosphere bacteria of the genus *Azospirillum*. Plant Cell Tissue and Organ Culture. 2020;141:351–359. DOI: https://doi.org/10.1007/s11240-020-01791-9

8. Kargapolova K. Yu., Tkachenko O. V., Burygin G. L., Evseeva N. V., Shirokov A. A., Matora L. Yu., Shchegolev S. Yu. Improving the efficacy of potato clonal micropropagation by inoculation with the rhizosphere bacteria *Azospirillum baldaniorum* Sp245 and *Ochrobactrum cytisi* IPA7.2. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2022;26(5):422–430. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/VJGB-22-52

9. Renev N. O., Malchevskiy V. A., Subbotin A. M., Petrov S. A. Growth and development of potato microplants in vitro under the influence of bacterial metabolites isolated from permafrost. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki* = Arctic and Subarctic Natural Resources. 2023;28(3):435–442. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-3-435-442

10. Eid A. R., Bayoumi S. R., El-Argawy E., Ghozlan M. H. The Role of Thaxtomin A and Necrosis Protein in Virulence of *Streptomyces scabies* that Cause Potato Common Scab Disease. Alexandria Science Exchange Journal. 2022;43(2):289–299. DOI: https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2022.242243

11. Vurukonda S. S. K. P., Giovanardi D., Stefani E. Plant Growth Promoting and Biocontrol Activity of *Streptomyces* spp. as Endophytes. International Journal of Molecular Sciences. 2018;19(4):952.
DOI: https://doi.org/10.3390/ijms19040952

12. Nazari M. T., Schommer V. A., Braun J. C. A., dos Santos L. F., Lopes S. T., Simon V., et al. Using *Streptomyces* spp. as plant growth promoters and biocontrol agents. Rhizosphere. 2023;27:100741.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100741

13. Nazarova Ya. I., Shirokikh I. G., Bakulina A. V., Baranova E. N., Ashikhmina T. Ya. Identification of two strains of streptomycetes from the rhizosphere and in vitro study of their colonizing activity. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2019;(3):72–79. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-3-072-079

14. Nazarova Ya. I., Bakulina A. V., Shirokikh I. G. To study the effect of the rhizospheric strain Streptomyces sp. TK-5 on the growth of meristemic potatoes. Soil reclamation for sustainable agricultural development: Proceedings of scientific and practical conf. Kirov: *Vyatskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya*, 2019. pp. 192–196. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=37651838

15. Bakulina A. V., Nazarova Ya. I., Shirokikh I. G. Study of colonization of meristematic potato plants by rhizosphere strain *Streptomyces flavogriseus* TK-5 in monoculture and in association with *Agrobacterium tumefaciens* CT-1. In Proceedings of the IX Congress of the Society of Plant Physiologists of Russia «Plant Physiology is the Basis for Creating Plants of the Future». Kazan', 2019. p. 54. DOI: https://doi.org/10.26907/978-5-00130-204-9-2019-54

16. Bakulina A. V., Nazarova Ya. I., Shirokikh I. G. Study of the influence of *Streptomyces antimycoticus* 8Al3 on potato plants infected with the bacterium *Clavibacter michiganensis* CMM 1519. Methods and technologies in plant breeding and crop production: Proceedings of the VII International scientific and practical conf. Kirov: *FANTs Severo-Vostoka im. N. V. Rudnitskogo*, 2021. pp. 293–297. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=46351650

17. Gauze G. F., Preobrazhenskaya T. P., Sveshnikova M. A., Terekhova L. P., Maksimova T. S. Identifier of actinomycetes. Moscow: *Nauka*, 1983. 246 p.

18. Libbert E., Risch H. Interactions between plants and epiphytic bacteria regarding their auxin metabolism. Physiologia Plantarum. 1969;22(1):51–58. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1969.tb07840.x

19. Merzaeva O. V., Shirokikh I. G. The production of auxins by the endophytic bacteria of winter rye. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2010;46(1):51–57. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=13044956

20. Murashige T., Skoog G. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum. 1962;15(3):473–497. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

Сведения об авторах

✉ **Широких Ирина Геннадьевна,** доктор биол. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений и микроорганизмов, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166а, Киров, Российская Федерация, 610007,
e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-3319-2729**, e-mail: irgenal@mail.ru

Мокрушина Светлана Эдуардовна, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166а, Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru; магистрант, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ул. Московская, д. 36, Киров, Российская Федерация, 610000. e-mail: info@vyatsu.ru,
ORCID: http://orcid.org/0009-0005-2192-7416

Абубакирова Роза Ильдусовна, лаборант-исследователь, 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/0000-0002-8526-2733**

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

Svetlana E. Mokrushina, laboratory 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; undergraduate student, Vyatka State University, Moskovskaya str., 36, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru,
ORCID: http://orcid.org/0009-0005-2192-7416

Roza I. Abubakirova, laboratory 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/0000-0002-8526-2733**

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ / AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.865–876
УДК 631.481

Изменение свойств агросерых лесных почв Удмуртской Республики в результате их длительного использования в сельскохозяйственном производстве

© 2024. А. В. Леднев✉, А. В. Ложкин, И. М. Кудрявцев
ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН», г. Ижевск, Российская Федерация

На основании данных мониторингового обследования почвенного покрова Удмуртской Республики выявлены изменения морфологических и агрохимических показателей агросерых лесных почв за 50-летний период сельскохозяйственного использования. Исследования проведены на реперных участках и по материалам почвенного обследования на площади более 9 тыс. га. Установлено, что уровень плодородия агросерых лесных почв зависел от их генетических особенностей (происхождения) и агротехники, применяемой на земельных участках. По уровню плодородия агросерые лесные почвы в течение всего периода наблюдений хорошо дифференцировались на три подтипа: темно-серые (содержание гумуса – более 5 %, сумма обменных оснований – более 35 ммоль/100 г, реакция почвенной среды – близкая к нейтральной или нейтральная); светло-серые (2,5–3,5 %; 20–30 ммоль/100 г; слабокислая или близкая к нейтральной); серые (вышеперечисленные показатели занимали промежуточное положение). За период наблюдений в изменении свойств агросерых лесных почв прослеживались следующие тенденции: увеличилась мощность пахотного слоя в среднем на 2–4 см, уменьшилось содержание гумуса в пахотном слое на 0,2–0,3 абс.%, или 2,5–10,0 отн.%, произошло подкисление почвы в пределах исходной группировки почв по степени кислотности. Содержание элементов питания не зависело от генетических особенностей почв, а определялось уровнем агротехники на земельных участках. Выявленные закономерности позволят сделать многолетний прогноз дальнейших изменений этих почв в результате их сельскохозяйственного использования с целью разработки мероприятий по воспроизводству плодородия.

Ключевые слова: *серые лесные почвы, почвенный мониторинг, морфологические показатели, агрохимические свойства, реперные участки, почвенное обследование.*

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Леднев А. В., Ложкин А. В., Кудрявцев И. М. Изменение свойств агросерых лесных почв Удмуртской Республики в результате их длительного использования в сельскохозяйственном производстве. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):865–876. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.865-876

Поступила: 06.05.2024 Принята к публикации:08.10.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Changes in the properties of agrogray forest soils of the Udmurt Republic as a result of their long-term use in agricultural production

© 2024. Andrey V. Lednev ✉, Andrey V. Lozhkin, Ivan M. Kudryavtsev
Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russian Federation

Changes in the morphological and agrochemical parameters of agrogray forest soils over a fifty-year period of agricultural use were identified based on data from a monitoring survey of the soil cover of the Udmurt Republic. The studies were conducted on reference plots and based on soil survey data over an area of more than 9 thousand hectares. It was established that the fertility level of agrogray forest soils depended on their genetic characteristics (origin) and agricultural technology used on land plots. Throughout the observation period, agrogray forest soils were well differentiated by fertility level into three subtypes: dark gray (humus content – more than 5 %, sum of exchangeable bases – more than 35 mmol/100 g, soil reaction – close to neutral or neutral), light gray (2.5–3.5 %; 20–30 mmol/100 g; slightly acidic or close to neutral) and gray (the above mentioned indicators occupied an intermediate position). During the observation period, the properties of agrogray forest soils changed as follows: the thickness of the arable layer increased by an average of 2–4 cm, the humus content in the arable layer decreased by 0.2–0.3 abs.%, or 2.5–10.0 rel.%, and the soil became acidified within the initial grouping of soils according to the degree of acidity. The content of nutrients did not depend on the genetic characteristics of the soils, but was determined by the level of agricultural technology on the land plots. The identified patterns will make it possible to make a long-term forecast of further changes in these soils as a result of their agricultural use in order to develop measures to restore fertility.

Keywords: *gray forest soils, soil monitoring, morphological indicators, agrochemical properties, reference plots, soil survey.*

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

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

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

***For citation*:** Lednev A. V., Lozhkin A. V., Kudryavtsev I. M. Changes in the properties of agro-gray forest soils of the Udmurt Republic as a result of their long-term use in agricultural production. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):865–876. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.865-876

Received: 06.05.2024 Accepted for publication: 08.10.2024 Published online: 30.10.2024

Сельскохозяйственное использование земель является одним из ведущих факторов, влияющих на изменение свойств почвы, которое по своему воздействию не только не уступает, но и может превосходить природные процессы почвообразования, что, в одних случаях, приводит к окультуриванию почв, повышению их эффективного плодородия, в других – к деградации почв, резкому снижению их производительных свойств.

От состояния земельных ресурсов зависит продовольственная безопасность страны и экологическое состояние агроландшафтов. Выявление изменений количественных и качественных показателей в течение определённого времени с помощью регулярного мониторинга почвенного покрова является важнейшей государственной задачей.

Результаты по изучению изменений свойств почв в течение длительного периода отражены в многочисленных исследованиях. Основная их часть делает свои заключения по результатам агрохимических обследований пашни [1, 2, 3, 4] или по данным многолетних опытов [5, 6, 7, 8] и, значительно реже, по данным реперных участков [9]. Ряд работ посвящен актуальной теме – разработке методики проведения мониторинговых обследований почв с использованием современных цифровых технологий [10, 11, 12]. Многие исследователи изучают изменение в почвах только одного показателя или фактора: органического вещества [13, 14, 15]; элементов минерального питания [16, 17]; тяжелых металлов [18, 19]; нефти [20]; переувлажнения [21]; типа землепользования [22] или свойств почв участков конкретных землепользователей: свинокомплекса [23]; городских земель [24]; нарушенных или загрязненных земель [25]; лесных массивов [26, 27]. К сожалению, очень мало работ, которые анализируют изменение почвенного покрова в течение длительного сельскохозяйственного использования по данным материалов почвенного обследования, хотя именно оно позволяет наиболее объективно оценить изменение как морфологических и агрохимических показателей, так и структуры почвенного покрова [28, 29]. Это связано с целым рядом объективных и субъективных причин, наиболее важными из которых являются:

- последний тур массового почвенного обследования в РФ завершился в 90-х годах XX века, поэтому архивные почвенные материалы просто не с чем сравнить;

- 2004 году принята новая классификация почв России[1], существенно отличающаяся от классификации 1977 года[2], по которой проведен последний тур почвенного обследования;

- массовая реорганизация колхозов и совхозов в конце XX века привела к изменению границ землепользований, смене землевладельцев и, в связи с этим, безвозвратной утрате многих архивных документов, в том числе материалов почвенного обследования.

Данные исследования имеют высокую степень актуальности и практической значимости, так как позволяют выявить тренды изменения свойств почв в результате длительного сельскохозяйственного использования и внести соответствующие коррективы в агротехнологии для повышения эффективности и экологической безопасности использования земельных ресурсов.

Цель исследований – выявить изменение морфологических, химических и физико-химических показателей агросерых лесных почв Удмуртской Республики за длительный период их сельскохозяйственного использования.

Научная новизна – впервые проведен анализ изменений свойств агросерых лесных почв Удмуртской республики за 50-летний период сельскохозяйственного использования.

[1]Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
[2]Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.

В данной статье приведены экспериментальные данные по агросерым лесным почвам, занимающим более 18 % от площади пашни в Удмуртии [30]. Результаты исследований по дерново-подзолистым почвам, занимающим 69 % площади пашни в Удмуртии, опубликованы в [31].

Материал и методы. Влияние природных и агрогенных факторов на основные типы почв Удмуртской Республики устанавливали с помощью двух методов. Первый метод основан на проведении мониторинговых исследований на специально отобранных реперных земельных участках (РЗУ). Закладка РЗУ проведена в 1992-1993 гг. специалистами АО АХЦ «Удмуртский», на которых в течение 30 лет периодически проводили целый комплекс наблюдений и исследований. Последний срок отбора почвенных и растительных образцов – август 2022 года. На агросерых лесных почвах располагались два РЗУ.

На каждом реперном земельном участке первоначально был заложен почвенный разрез на глубину 1,5 м, имеющий точные координаты места расположения. При выборе реперных участков учитывалось много факторов и, в первую очередь, типичность залегающих на них почв для условий Удмуртской Республики. Из каждого генетического горизонта почвенных разрезов отобраны почвенные образцы на полный агрохимический анализ, содержание нефтепродуктов, тяжёлых металлов и остаточное содержание пестицидов. Исключение составил только образец из пахотного слоя, он являлся смешанным и состоял из пяти индивидуальных образцов, отобранных методом конверта из слоя 0–20 см. Четыре образца были отобраны агрохимическим буром, а пятый (центральный) – из почвенного разреза. Через каждые три года с мест расположения почвенных разрезов из пахотного слоя почв РЗУ агрохимическим буром отбирались смешанные почвенные образцы с глубины 0–20 см на эти же виды анализов. В 2022 году на РЗУ на тех же самых местах снова были заложены почвенные разрезы на глубину 1,5 метра и отобраны по вышеописанной методике почвенные образцы на эти же виды анализов. Почвенные образцы проанализированы в биохимических лабораториях АО АХЦ «Удмуртский» (с 1991 по 2012 год) и в Центре коллективного пользования УдмФИЦ УрО РАН (2022 г.) гостированными методами.

Второй метод проведения мониторинговых исследований основан на сравнении материалов трёх туров почвенного обследования по двум землепользованиям УдмФИЦ УрО РАН. Первый земельный участок расположен в окрестностях д. Дуброво Завьяловского района (кадастровый номер кварталов 18:08:035001 и 18:08:036001), его площадь составляет 1930,7 га. Второй земельный участок расположен в окрестностях д. Уром Малопургинского района (кадастровый номер кварталов 18:16:084001, 18:16:086001 и 18:16:006001), площадь – 7325,2 га. Общая площадь почвенного обследования – 9255,9 га.

Первый тур почвенного обследования на первом земельном участке проведён в 1973 г., на втором – в 1972 г., второй тур – на первом участке в 1992 г., на втором – в 1993 г. В августе 2021 г. (на первом участке) и в июне 2022 г. (на втором участке) проведено новое детальное почвенно-агрохимическое обследование в М 1:10 000 с использованием современных ГИС-технологий. Для повышения объективности оценки изменений свойств почв за период между обследованиями при заложении почвенных разрезов в 2021-2022 гг. учитывалось месторасположение разрезов предыдущего тура обследований.

Из каждого почвенного разреза с учетом генетических горизонтов отобраны почвенные образцы, которые были проанализированы в Центре коллективного пользования УдмФИЦ УрО РАН (2022 г.) гостированными методами.

Агрохимические показатели почвы при обоих видах мониторинговых исследований определяли следующими методами: $pH_{сол.}$ – ионометрическим (ГОСТ 26483 – 85)[3]; гидролитическая кислотность – по Каппену в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212–91)[4]; сумма поглощенных оснований – по Каппену (ГОСТ 27821–88)[5]. Для определения степени окультуренности использовали модели плодородия почв Удмуртской Республики, разработанные В. П. Ковриго [30], по которым выделялись три градации: слабо окультуренные (освоенные), средне- и сильно окультуренные.

[3]ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1985. 4 с. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf
[4]ГОСТ 26212-91. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1992. 7 с. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/33a/4294828268.pdf
[5]ГОСТ 27821-91. Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. М.: Изд-во стандартов, 1988. 7 с. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/3a6/4294826916.pdf

Подвижный фосфор и калий определяли по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207–91)[6] колориметрическим методом, содержание гумуса – по Тюрину (ГОСТ 26213–91)[7].

При статистической обработке экспериментальных данных по турам почвенного обследования рассчитывали доверительный интервал и коэффициент вариации[8].

Результаты и их обсуждение. Изменение свойств агросерых лесных почв за период наблюдений определено с помощью экспериментальных данных, полученных по двум реперным участкам и по двум землепользованиям УдмФИЦ УрО РАН, расположенным в различных частях Удмуртии.

Реперный участок № 4. Находится в Каракулинском районе республики. Почвенная зона – северная лесостепная. Почвенная провинция – предуральская. Участок заложен в 1992 году. Землепользователь в 1992 году – совхоз «Каракулинский», в 2022 году – земли муниципального образования Каракулинский район. Площадь реперного участка 78 га, расположен на шлейфе пологого склона увала. Экспозиция склона – юго-восточная, крутизна – 1-2°. Название почвы: агросерая лесная среднепахотная слабосмытая тяжелосуглинистая на покровных глинах и тяжёлых суглинках (по классификации 2004 г.); светло-серая лесная сильно оподзоленная слабосмытая тяжелосуглинистая на покровных глинах и тяжёлых суглинках (по классификации 1977 г.). Морфологические признаки почвы реперного участка № 4 в 2022 г. определены с помощью закладки почвенного разреза 2. Координаты разреза: N 56.033.433; E 53.739.470. Они соответствовали координатам разреза 1, заложенного в 1992 г. Угодье – пашня. Культура в 2022 г. – многолетние травы (бобово-злаковая травосмесь). Биологическая урожайность зеленой массы – 800 г/м^2. Засоренность сильная осотом желтым, пыреем ползучим, нивяником полевым, щавелем конским. Морфологические признаки почвы разреза 2 в 2022 г. следующие:

P (Апах) 0–24 см – пахотный; светло-серый; пылевато-комковатый; присутствуют многочисленные корни; тяжелосуглинистый; свежий; уплотненный; переход в нижележащий горизонт – резкий.

BEL (B_1) 24–48 см – субэлювиальный; белесовато-буровато-коричневый; состоит из комбинации белёсых, светлых и бурых фрагментов, различающихся по сложению, гранулометрическому составу и структуре; встречаются корневины и единичные корни; мелкоореховатый; тяжелосуглинистый; свежий; среднеуплотнённый; переход в нижележащий горизонт постепенный.

BT (B_2) 48–130 см – иллювиальный (текстурный); буровато-коричневый; присутствуют единичные клиновидные языки, заполненные осветлённым материалом элювиального горизонта, и обильные многослойные кутаны из оксидов и гидроксидов железа, глинистых минералов, покрывающие структурные отдельности всех уровней; имеет многопорядковую структуру: призмы делятся на горизонтальные плитки, раскалывающиеся на орехи; тяжелосуглинистый; свежий; среднеуплотнённый.

C 130–150 см – почвообразующая порода; желтовато-коричневая; бесструктурная; тяжелосуглинистая; свежая; среднеуплотнённая.

За период с 1992 по 2022 год морфологические признаки остались без изменений, произошло лишь небольшое уменьшение мощности пахотного слоя на 1 см, что, возможно, связано с проявлением водной эрозии. Агрохимическая характеристика почвы реперного участка № 4 представлена в таблице 1.

Данные, приведенные в таблице 1, свидетельствуют, что в 1992 году пахотный слой почвы реперного участка № 4 характеризовался нейтральной реакцией солевой вытяжки, средним уровнем гидролитической кислотности, повышенной суммой обменных оснований и гумусированностью. Содержание обменного калия – среднее, подвижного фосфора – повышенное. Эти показатели являются типичными для освоенных агросерых суглинистых почв. Вниз по профилю наблюдалось снижение гумусированности, но не такое резкое, как у дерново-подзолистых почв [31]. Почвенная кислотность изменялась в небольших пределах и лишь в верхней части иллювиального горизонта снизилась до близкой к нейтральной реакции, что являлось следствием проявления ослабленного подзолистого процесса. Вниз по профилю происходило увеличение значений

[6]ГОСТ 26207-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1992. 7 с. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/c43/4294828273.pdf
[7]ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Изд-во стандартов, 1992. 8 с. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf
[8]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.

суммы обменных оснований и содержания подвижного фосфора и калия, что связано с более тяжёлым гранулометрическим составом нижележащих горизонтов и региональной особенностью почвообразующих пород, в образовании которых принимали участие породы морского происхождения (пермские карбонатные глины).

Таблица 1 – **Агрохимическая характеристика агросерой почвы реперного участка № 4 /**
Table 1 – **Agrochemical characteristics of agrogray soil of reference plot No. 4**

Горизонт / Horizon	*Глубина взятия, см / Taking depth, cm*	*pH$_{KCl}$*	*Hг / Hidrolytic acidity*	*S / Amount of exchange bases*	*V, % / The degree of saturation of the bases*	*P_2O_5*	*K_2O*	*Гумус, % / Humus, %*
			ммоль/100 г / mmol/100 g			*мг/кг / mg/kg*		
Разрез 1 (1992 г.) / Cut 1 (1992)								
Апах	0–20	6,4	3,36	29,4	90	110	88	2,9
B_1	25–35	5,9	4,74	35,7	88	147	82	0,9
B_1	60–70	6,1	2,67	35,1	94	190	89	0,6
B_2	90–100	6,3	3,92	34,4	90	105	85	0,6
BC	120–130	6,3	4,74	36,1	88	192	93	0,5
C	140–150	6,2	4,57	36,7	89	220	101	0,7
Разрез 2 (2022 г.) / Cut 2 (2022)								
P (Апах)	0–20	5,2	3,98	29,0	88	136	30	2,6
BEL (B_1)	24–34	5,4	3,13	27,1	90	126	45	0,8
BT (B_2)	60–70	6,1	3,79	29,0	88	144	45	0,6
BT (B_2)	90–100	6,0	4,05	27,7	87	126	44	0,5
C	140–150	6,0	3,71	29,4	89	170	64	0,4

За период с 1992 по 2012 год наблюдали постепенное увеличение кислотности в пахотном слое и уменьшение показателя суммы обменных оснований, что связано с выносом кальция и магния урожаем сельскохозяйственных культур и периодическим внесением минеральных удобрений. Содержание элементов минерального питания по годам изменялось от среднего до повышенного уровня и определялось дозами внесения минеральных удобрений и полученной урожайностью сельскохозяйственных культур. Гумусированность пахотного слоя постепенно уменьшалась, это является следствием того, что на данном земельном участке применялись только экстенсивные технологии.

В 2022 году пахотный слой характеризовался слабокислой реакцией среды, средним уровнем гидролитической кислотности, повышенной суммой обменных оснований и гумусированностью. Содержание обменного калия в горизонте Апах – очень низкое, подвижного фосфора – повышенное. Всё это свидетельствует о снижении плодородия данного земельного участка за период наблюдений, о переходе степени его окультуренности от повышенной (до 2012 г.) до средней. Изменения показателей вниз по профилю почвы аналогичны отмеченным в 1992 году.

Реперный участок № 6. Расположен в Шарканском районе Удмуртии. Почвенная зона – южно-таёжная лесная. Почвенная провинция – среднерусская. Участок заложен в 1994 году. Землепользователь в 1994 году – колхоз «Идеал», в 2022 году – арендные земли КФК «Собин». Площадь реперного участка 113 га, расположен в нижней части слабопокатого склона увала. Экспозиция склона – северная, крутизна – 2-3°. Название почвы: агросерая лесная среднепахотная слабосмытая тяжелосуглинистая на покровных глинах и тяжёлых суглинках (по классификации 2004 г.); светло-серая лесная сильно оподзоленная слабосмытая тяжелосуглинистая на покровных глинах и тяжёлых суглинках (по классификации 1977 г.). Морфологические признаки почвы реперного участка № 6 в 2022 году определены с помощью закладки почвенного разреза 3 с координатами (N 57.266607; E 53.873406), которые соответствовали координатам разреза 1, заложенного в 1994 г. Угодье – пашня. Культура в 2022 г. – яровая пшеница. Биологическая урожайность зерна – 380 г/м^2. Засоренность средняя осотом розовым, вьюнком полевым, овсюгом. Морфологические признаки почвы разреза 3 следующие:

P (Апах) 0–26 см – пахотный; светло-серый; пылевато-комковатый; присутствуют

многочисленные корни; среднесуглинистый; свежий; уплотненный; переход в нижележащий горизонт резкий.

BEL (B_1) 26–52 см – субэлювиальный; белесовато-буровато-коричневый; присутствуют многочисленные глубокие, сужающиеся книзу светлые языки, выполненные материалом элювиального горизонта, встречаются корневины и единичные корни; мелкоореховатый; тяжелосуглинистый; свежий; среднеуплотнённый; переход в нижележащий горизонт постепенный.

BT (B_2) 52–130 см – иллювиальный (текстурный); буровато-коричневый; присутствуют единичные клиновидные языки, заполненные осветлённым материалом элювиального горизонта, и обильные многослойные кутаны из оксидов и гидроксидов железа и глинистых минералов, покрывающие структурные отдельности всех уровней; имеет многопорядковую структуру: призмы делятся на горизонтальные плитки, раскалывающиеся на орехи; тяжелосуглинистый; свежий; среднеуплотнённый.

С 130–150 см – почвообразующая порода; желтовато-коричневая; бесструктурная; тяжелосуглинистая; свежая; среднеуплотнённая.

За период с 1994 по 2022 год произошло увеличение мощности пахотного слоя на 1 см (с 25 до 26 см), что, скорее всего, связано с периодической глубокой зяблевой обработкой данного участка отвальным плугом на глубину до 26 см. Кроме того, наблюдалось уменьшение мощности первого текстурного горизонта (BTу) на 5 см. В 1994 году его мощность составляла 31 см (располагался на глубине 25–56 см), в 2022 году только 26 см (26–52 см). Это объясняется тремя причинами: 1) растянутым переходом первого текстурного горизонта во второй, что приводит к разным трактовкам определения его нижней границы; 2) увеличением мощности пахотного слоя на 1 см за счёт припашки текстурного горизонта; 3) развитием на земельном участке плоскостной водной эрозии, которая привела к смыву верхней части пахотного слоя.

Агрохимическая характеристика почвы реперного участка № 6 приведена в таблице 2.

Таблица 2 – **Агрохимическая характеристика агросерой почвы реперного участка № 6 /**
Table2– **Agrochemical characteristics of agrogray soil of reference plot No. 6**

Горизонт / Horizon	*Глубина взятия, см / Taking depth, cm*	*pH$_{KCl}$*	*Hг / Hidrolytic acidity*	*S / Amount of exchange bases*	*V, % / The degree of saturation of the bases*	*P_2O_5*	*K_2O*	*Гумус, % / Humus, %*
			ммоль/100 г / mmol/100 g			*мг/кг / mg/kg*		
Разрез 1 (1994 г.) / Cut 1 (1994)								
Апах	0–20	4,9	5,54	22,4	80	76	59	3,5
A_2B_1	25–35	4,1	4,71	17,8	79	36	78	0,9
B_2	60–70	4,2	5,32	23,4	81	91	96	0,4
B_2	90–100	4,7	4,00	28,9	88	114	95	0,5
C	140–150	5,0	2,89	29,8	91	117	97	0,6
Разрез 3 (2022 г.) / Cut 3 (2022)								
P (Апах)	0–20	5,2	3,63	25,8	88	100	80	3,4
BEL (B_1)	26–36	4,9	1,98	21,8	92	80	44	1,1
BT (B_2)	60–70	4,5	2,46	29,2	92	94	44	0,8
BT (B_2)	90–100	5,3	2,72	30,7	92	120	58	0,8
C	140–150	5,6	2,34	31,2	93	180	60	0,7

В 1994 году пахотный слой почвы реперного участка № 6 характеризовался среднекислой реакцией среды солевой вытяжки, повышенными значениями гидролитической кислотности и суммы обменных оснований, повышенным содержанием гумуса, средним – подвижного фосфора, низким – обменного калия. Полученные данные свидетельствуют об экстенсивном характере использования почвы и недостаточно высоком уровне ее плодородия. Вниз по профилю наблюдалось снижение гумусированности и увеличение почвенной кислотности, что являлось следствием проявления зонального подзолистого процесса. Самый низкий показатель почвенной кислотности и суммы обменных оснований закономерно

наблюдался в субэлювиальном горизонте (A_2B_1). Вниз по профилю происходило увеличение показателя суммы обменных оснований, содержания подвижного фосфора и обменного калия, что связано с более тяжёлым гранулометрическим составом нижележащих горизонтов и региональной особенностью почвообразующих пород, в образовании которых принимали участие породы морского происхождения. На глубине 130 см было зафиксировано снижение почвенной кислотности до 5,0 ед. pH_{KCl}, что свидетельствовало о постепенной смене покровных глин и тяжёлых суглинков пермскими карбонатными глинами.

За период с 1994 по 2012 год наблюдали постепенное увеличение почвенной кислотности: значения обменной кислотности изменялись в пределах 4,6–5,0 ед. pH_{KCl}, гидролитической кислотности – 4,14–8,45 ммоль/100 г почвы, что является следствием течения зонального подзолистого процесса и систематического внесения минеральных удобрений. Содержание элементов минерального питания по годам сильно изменялось (от низкого до повышенного) и определялось дозами внесения минеральных удобрений, а также урожайностью сельскохозяйственных культур. Наиболее стабильными показателями за период наблюдений отмечены сумма обменных оснований и содержание гумуса, коэффициент вариации по годам, в большинстве случаев, не превышал 10–20 %.

В 2022 году пахотный горизонт характеризовался слабокислой реакцией, средней гидролитической кислотностью, повышенной суммой обменных оснований и гумусированностью. Содержание обменного калия и подвижного фосфора в горизонте Апах – среднее. Приведенные показатели свидетельствуют о переходе степени окультуренности почвы от невысокой (до 2012 г.) до средней. Это связано с тем, что в настоящее время этот участок арендует экономически сильное сельскохозяйственное предприятие (КФК «Собин»). Изменение показателей вниз по профилю почвы, аналогично отмеченному в 1994 году.

Наибольший интерес при проведении мониторинга почв вызывает изменение в пахотном слое содержания гумуса – показатель, наиболее объективно отражающий степень окультуривания или деградации почв. За 30-летний период на реперном участке № 4 содержание гумуса уменьшилось на 0,3 абс.%, или 10,3 отн.%, на реперном участке № 6 – на 0,1 абс.%, или 2,6 отн.%. Это уменьшение обусловлено двумя причинами: 1) увеличением мощности пахотного слоя за счёт припашки иллювиального горизонта; 2) развитием на реперных участках плоскостной водной эрозии, которая привела к смыву верхней части пахотного слоя и дополнительной припашке нижележащих горизонтов. Необходимо отметить, что процесс снижения содержания гумуса в агросерых лесных почвах протекал менее активно, чем на окружающих агродерново-подзолистых почвах [31], что объясняется их расположением в нижних частях пологих склонов и их шлейфах, которые являются наименее эрозионно опасными элементами агроландшафтов.

Для проверки выявленных закономерностей проведен анализ изменения свойств агросерых лесных почв на двух земельных участках за период между тремя турами почвенного обследования, который составил около 50 лет. Так как основные изменения агрохимических показателей происходили в пахотном слое почв, именно их обобщённая характеристика приведена в таблице 3.

Приведенные в таблице 3 агрохимические показатели пахотного слоя свидетельствуют о том, что разные подтипы агросерых лесных почв характеризуются отличающимся между собой уровнем плодородия, который возрастал от светло-серых к тёмно-серым лесным почвам. Наиболее четко прослеживались различия между подтипами по содержанию гумуса, показателю суммы обменных оснований и почвенной кислотности. Эти различия сохранялись в течение всего периода наблюдений. Содержание элементов минерального питания в пахотном слое не зависело от подтипа почв, оно определялось количеством минеральных удобрений, вносимых на данных земельных участках.

За период между почвенными обследованиями прослеживались следующие закономерности в изменении свойств серых лесных почв: 1) увеличилась мощность пахотного слоя в среднем на 2–4 см, что связано с использованием в хозяйствах более мощной почвообрабатывающей техники; 2) за 50-летний период во всех подтипах почв произошло снижение содержания гумуса в горизонте Апах. на 0,2-0,3 абс.%, что связано с целым комплексом причин; 3) за период с 1972 по 1992 год наблюдалось уменьшение почвенной кислотности, а впоследствии её увеличение, что связано с резким снижением объёмов известкования кислых почв после 90-х годов XX века; 4) наиболее значительно изменялось по годам содержание

в пахотном слое элементов минерального питания, количество которых не зависело от подтипа почв; 5) наиболее стабильными показателями за период наблюдений являлись содержание гумуса и сумма обменных оснований, коэффициент вариации по годам, в большинстве случаев, не превышал 10-20 %. Выявленные при почвенных обследованиях закономерности подтверждаются экспериментальными данными, полученными на реперных участках.

Таблица 3 **– Изменение агрохимических показателей пахотного слоя агросерых почв за период между обследованиями /**
Table3 **– Changes in agrochemical parameters of the arable layer of agrogray soils during the period between the surveys**

Количество разрезов / Number of cuts	*Мощность слоя, см / Layer thickness, cm*	*pH_{KCl}*	*Hг / Hidrolytic acidity*	*S / Amount of exchange bases*	*V, % / The degree of saturation of the bases*	*P_2O_5*	*K_2O*	*Гумус, % / Humus, %*
			ммоль/100 г/ mmol/100 g			*мг/кг / mg/kg*		
Светло-серые лесные суглинистые / Light gray forest loamy								
2021-2022 гг.								
10	30±6	5,4±0,4	2,90±0,32	23,7±3,9	89,1±0,5	212±48	138±28	2,7±0,3
1992-1993 гг.								
10	26±2	5,8±0,2	2,2±0,58	25,7±2,5	92,0±2,6	172±86	128±42	2,8±0,4
1972–1974 гг.								
8	22±1	5,3±0,2	3,9±0,70	21,4±2,5	84,7±0,8	89±28	74±19	3,0±0,3
Серые лесные суглинистые / Gray forest loamy								
2021-2022 гг.								
4	26±2	5,9±0,6	2,0±1,22	33,0±3,2	94,1±3,8	232±73	91±31	4,6±0,8
1992-1993 гг.								
4	25±2	6,0±0,4	2,17±1,40	34,9±5,6	94,1±3,2	190±41	96±26	4,7±0,6
1972–1974 гг.								
3	24±3	5,6±0,3	3,61±1,36	28,2±4,6	88,6±4,1	172±48	65±24	4,8±0,9
Темно-серые лесные суглинистые / Dark gray forest loamy								
2021-2022 гг.								
3	29±1	6,0±0,5	2,74±1,40	40,7±3,3	93,7±3,2	177±27	73±12	5,6±0,4
1992-1993 гг.								
3	26±2	6,2±0,3	1,98±0,85	42,9±4,9	95,6±4,1	189±42	65±16	5,8±0,7
Данные за период 1972–1974 гг. отсутствуют / Data for the period 1972–1974 are not available								

Выводы.

1. Сельскохозяйственное использование изменяет только самые верхние горизонты почв. Формируется специфический агрогенный (пахотный) слой, показатели которого зависят от генетических особенностей почвы (её происхождения) и особенностей агротехники, применяемой на земельных участках.

2. По уровню плодородия в течение всего периода наблюдений серые лесные почвы хорошо дифференцировались на три подтипа: темно-серые (содержание гумуса очень высокое – более 5 %, сумма обменных оснований очень большая – более 35 ммоль/100 г, кислотность изменялась от близкой к нейтральной до нейтральной по показателю pH_{KCl}); светло-серые (содержание гумуса повышенное – 2,5–3,5 %, сумма обменных оснований повышенная и большая – 20–30 ммоль/100 г, реакция почвенной среды изменялась от слабо кислой до близкой к нейтральной); серые (вышеперечисленные показатели занимали промежуточное положение).

3. В течение 50-летнего сельскохозяйственного использования в изменении свойств агросерых лесных почв прослеживались следующие тенденции: увеличилась мощность пахотного слоя в среднем на 2–4 см; отмечено уменьшение содержания гумуса в пахотном слое на 0,2-0,3 абс.%, или 5–10 отн.%; произошло небольшое подкисление почвы – в пределах исходной группировки почв по степени кислотности.

4. Агрохимические показатели, используемые для проведения мониторинга почв, подразделялись на две основные группы: наиболее изменчивые, к которым относятся содержание элементов минерального питания (в течение длительного периода они изменялись в значительных пределах, коэффициент вариации превышал 33 %); относительно стабильные – это сумма обменных оснований и содержание гумуса (коэффициент вариации, в большинстве случаев, не превышал 10–20 %).

5. Для проведения длительного мониторинга почв наибольший интерес представляет вторая группа показателей (сумма обменных оснований и содержание гумуса). Они не такие консервативные, как гранулометрический и минералогический состав почв, но в то же время достаточно объективно сигнализируют о деградации или окультуривании почв, что позволяет использовать данные показатели для паспортизации почв земельных участков[9].

Список литературы

1. Лукин С. В. Динамика агроэкологического состояния почв Белгородской области при длительном сельскохозяйственном использовании. Почвоведение. 2023;(12):1671–1685. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X23600890 EDN: DQWBBW

2. Суринов А. В. Динамика агрохимических показателей плодородия черноземов лесостепной зоны ЦЧР. Агрохимический вестник. 2022;(2):8–10. DOI: https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-2-002 EDN: GYRVGC

3. Некрасов Р. В. На страже плодородия почв России. Агрохимический вестник. 2019;(2):3–9. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10017 EDN: WZCIRD

4. Соловиченко В. Д., Тютюнов С. И. Мониторинг почвенного покрова Белгородской области. Белгород: изд-во Отчий край, 2014. 113 с.

5. Семенов М. В., Ксенофонтова Н. А., Никитин Д. А., Тхакахова А. К., Лукин С. М. Микробиологические показатели дерново-подзолистой почвы и ризосферы в полувековом полевом опыте с применением разных систем удобрения. Почвоведение. 2023;(6):715–729. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X22601220 EDN: FPEBGH

6. Семенов В. М., Лебедева Т. Н., Зинькова Н. Б., Соколова Д. А. Размеры и соотношения пулов органического углерода в серой лесной почве при многолетнем применении минеральных и органических удобрений. Почвоведение. 2023;(4):482–501. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X22601426 EDN: HORPOE

7. Кузьмина Т. Е., Володина Т. И., Левченкова А. Н. Агроэкологическая оценка дерново-подзолистых почв по агрохимическим и агрофизическим свойствам в условиях Псковской области. Агрохимический вестник. 2022;(1):17–21. DOI: https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-1-004 EDN: LGOMJG

8. Bassouny M., Chen J. Effect of long-term organic and mineral fertilizer on physical properties in root zone of a clayey Ultisol. Archives of Agronomy and Soil Science. 2016;62(6):819–828. DOI: https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1085649

9. Воронин М. Ю., Сискевич Р. Ю., Фролова Н. А. Динамика агрохимических показателей пахотного горизонта почв Липецкой области по результатам локального мониторинга. Агрохимический вестник. 2022;(5):3–9. DOI: https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-5-001 EDN: ENUGTS

10. Шарый П. А. Факторы среды в предсказательном картографировании почв. Почвоведение. 2023;(3):285–299. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X22100380 EDN: HCYPWI

11. Рухович Д. И., Королева П. В., Калинина Н. В., Вильчевская Е. В., Сулейман Г. А., Черноусенко Г. И. Детектирование деградированных участков пашни на основе анализа больших спутниковых данных. Почвоведение. 2021;(2):151–167. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X21020131 EDN: WLJCMW

12. Лукин С. В., Костин И. Г., Малышева Е. С. Применение геоинформационных систем для агроэкологического мониторинга сельскохозяйственных земель. Агрохимический вестник. 2019;(4):8–13. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10050 EDN: AHUBYO

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

14. Митрофанов Ю. И., Первушина Н. К. Динамика гумуса в полевых севооборотах на осушаемых землях. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(1):62–74. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.62-74 EDN: IAAFVI

15. Овсепян Л. А., Курганова И. Н., Лопес де Гереню В. О., Русаков А. В., Кузяков Я. В. Изменение денситометрического фракционного состава органического вещества почв лесостепной зоны в процессе постагрогенной эволюции. Почвоведение. 2020;(1):56–68. DOI: https://doi.org/10.1134/S0032180X20010128 EDN: EMBFON

[9]ГОСТ Р 70229–2022. Почвы. Показатели качества почв. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 32 с. URL: http://gost.gtsever.ru/Data/784/78427.pdf

16. Папаскири Т. В., Митрофанов С. В., Серова Е. В., Орлова Н. В., Савина Н. П. Анализ влияния сельскохозяйственного применения удобрений на баланс основных элементов питания и устойчивость земледелия Нидерландов. Агрохимический вестник. 2023;(6):72–78. DOI: https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-6-014 EDN: RYXQSJ

17. Дзюин А. Г. Фосфатный режим дерново-подзолистых почв Северо-восточной зоны Нечерноземья. Ижевск: изд-во Алкид, 2020. 208 с.

18. Сысо А. И., Соколов Д. А., Сиромля Т. И., Ермолов Ю. В., Махатков И. Д. Антропогенная трансформация свойств почв ландшафтов Таймыра. Почвоведение. 2022;(5):521–537. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X22050082 EDN: TWYXFU

19. Кашулина Г. М. Комплексный мониторинг окружающей среды в районе медно-никелевого предприятия на Кольском полуострове. Почвоведение. 2022;(5):556–570. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X22050021 EDN: YMIYMT

20. Леднев А. В. Изменение свойств почв европейской части Нечерноземной зоны РФ под действием продуктов нефтедобычи и приемы их ремедиации. Ижевск: изд-во «Цифра», 2018. 230 с.

21. Королева П. В., Рухович Д. И., Шаповалов Д. А., Сулейман Г. А., Долинина Е. А. Ретроспективный мониторинг переувлажнения почвенного покрова пахотных земель Тамбовской области в 2018–1968 гг. Почвоведение. 2019;(7):872–890. DOI: https://doi.org/10.1134/S0032180X19070074 EDN: BSDBSB

22. Marzaioli R., D'Ascoli R., De Pascale R. A., Rutigliano F. A. Soil Quality in a Mediterranean Area of Southern Italy as Related to Different Land Use Types. Applied Soil Ecology. 2010;44(3):205–212. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.12.007

23. Титова В. И., Мартынова О. С., Рыбин Р. Н. Динамика агрохимических показателей почв свинокомплекса за 10 лет его функционирования. Агрохимический вестник. 2024;(1):7–12. DOI: https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-1-002 EDN: KNZLCG

24. Парамонова Т. А., Черногаева Г. М., Лукьянова Н. Н., Парамонов М. С. Тяжелые металлы в городских почвах Приволжского федерального округа: сопряженный анализ официальных данных. Почвоведение. 2023;(11):1472–1488. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X23600300 EDN: MGZLIZ

25. Сычева Д. Г., Кошелева Н. Е. Эколого-геохимическое состояние почвенного покрова г. Гусиноозерска в зоне влияния угольной ГРЭС. Почвоведение. 2023;(8):953–969. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X23600270 EDN: OJFDFW

26. Копцик Г. Н., Смирнова И. Е., Копцик С. В. Анализ эколого-генетических особенностей почв для мониторинга лесных экосистем в зоне хвойно-широколиственных лесов. Почвоведение. 2023;(10):1269–1284. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X23600592 EDN: UKBCZF

27. Mihailović D. T., Dresković N., Arsenić I., Ćivić V., Durdević V., Mimić G., Pap I. I., Balaž I. Impact of climate change on soil thermal and moisture regimes in Serbia: An analysis with data from regional climate simulations under SRES-A1B. Science of The Total Environment. 2016;571:398–409. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.142

28. Леднев А. В., Кудрявцев И. М. Изменение почвенного покрова за период между обследованиями (1992–2021 гг.) на примере земельного участка Удмуртского НИИСХ. Агрофизика. 2022;(2):7–12. DOI: https://doi.org/10.25695/AGRPH.2022.02.02 EDN: VJZJJI

29. Киселева А. Н., Курмашева Н. Г., Асылбаев И. Г., Хасанов А. Н., Низаметдинов З. М. Мониторинг изменения почвенного покрова северной лесостепной зоны республики Башкортостан (на примере Иглинского района). Агрофизика. 2021;(3):27–34. DOI: https://doi.org/10.25695/AGRPH.2021.03.05 EDN: CGBJTF

30. Ковриго В. П. Почвы Удмуртской Республики. Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2004. 489 с.

31. Леднев А. В., Ложкин А. В. Изменение свойств агродерново-подзолистых почв Удмуртской Республики с 1992 по 2022 гг. Агрохимический вестник. 2023;(5):33–39. DOI: https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-5-006 EDN: BAIJIY

References

1. Lukin S. V. Dynamics of the agroecological state of the soils of the central chernozem region during long-term agricultural us (on the example of the Belgorod region). *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2023;(12):1671–1685. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X23600890

2. Surinov A. V. Dynamics of agrochemical parameters of chernozem fertility in forest-steppe zone of the Central chernozem region. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2022;(2):8–10. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-2-002

3. Nekrasov R. V. On the guard of Russian soils fertility. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(2):3–9. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10017

4. Solovichenko V. D., Tyutyunov S. I. Monitoring of the soil surface of the Belgorod region. Belgorod: *izd-vo Otchiy kray*, 2014. 113 p.

5. Semenov M. V., Ksenofontova N. A., Nikitin D. A., Tkhakakhova A. K., Lukin C. M. Microbiological parameters of sod-podzolic soil and rhizosphere in a half-century field experiment with different fertilizer systems. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2023;(6):715–729. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X22601220

6. Semenov V. M., Lebedeva T. N., Zinkova N. B., Sokolova D. A. Sizes and ratios of organic carbon pools in gray forest soil under long-term application of mineral and organic fertilizers. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2023;(4):482–501. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X22601426

7. Kuz'mina T. E., Volodina T. I., Levchenkova A. N. Agroecological assessment of soddy-podzolic soils by agrochemical and agrophysical properties under conditions of the Pskov region. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2022;(1):17–21. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-1-004

8. Bassouny M., Chen J. Effect of long-term organic and mineral fertilizer on physical properties in root zone of a clayey Ultisol. Archives of Agronomy and Soil Science. 2016;62(6):819–828.
DOI: https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1085649

9. Voronin M. Yu., Siskevich R. Yu., Frolova N. A. Dynamics of agrochemical indicators of arable soil horizon in the Lipetsk region according to results of local monitoring. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2022;(5):3–9. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-5-001

10. Sharyy P. A. Environmental variables in predictive soil mapping. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2023;(3):285–299. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X22100380

11. Rukhovich D. I., Koroleva P. V., Kalinina N. V., Vilchevskaya E. V., Suleyman G. A., Chernousenko G. I. Detecting degraded arable land on the basis of remote sensing big data analysis. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2021;(2):151–167. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X21020131

12. Lukin S. V., Kostin I. G., Malysheva E. S. Application of gis for agroecological monitoring of agricultural lands. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(4):8–13. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10050

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

14. Mitrofanov Yu. I., Pervushina N. K. Dynamics of humus in field crop rotations on drained lands. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(1):62–74. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.62-74

15. Ovsepyan L. A., Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O., Rusakov A. V., Kuzyakov Ya. V. Changes in the fractional composition of organic matter in the soils of the forest–steppe zone during their postagrogenic evolution. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2020;(1):56–68. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.1134/S0032180X20010128

16. Papaskiri T. V., Mitrofanov S. V., Serova E. V., Orlova N. V., Savina N. P. Analysis of the impact of agricultural application of fertilizers on the balance of basic nutrition elements and sustainability of agriculture in the Netherlands. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2023;(6):72–78. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-6-014

17. Dzyuin A. G. Phosphate regime of sod-podzolic soils of the Northeastern zone of the Non-Chernozem region. Izhevsk: *izd-vo Alkid*, 2020. 208 p.

18. Syso A. I., Sokolov D. A., Siromlya T. I., Ermolov Yu. V., Makhatkov I. D. Anthropogenic transformation of soil properties in Taimyr landscapes. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2022;(5):521–537. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X22050082

19. Kashulina G. M. Multi-medium environmental monitoring in the impact zone of the copper-nickel industrial complex in the Kola peninsula. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2022;(5):556–570. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X22050021

20. Lednev A. V. Changes in soil properties of the European part of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation under the influence of oil products and methods of their remediation. Izhevsk: *izd-vo «Tsifra»*, 2018. 230 p.

21. Koroleva P. V., Rukhovich D. I., Shapovalov D. A., Suleyman G. A., Dolinina E. A. Retrospective monitoring of soil waterlogging on arable land of Tambov oblast in 2018–1968. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2019;(7):872–890. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.1134/S0032180X19070074

22. Marzaioli R., D'Ascoli R., De Pascale R. A., Rutigliano F. A. Soil Quality in a Mediterranean Area of Southern Italy as Related to Different Land Use Types. Applied Soil Ecology. 2010;44(3):205–212.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.12.007

23. Titova V. I., Martyanova O. S., Rybin R. N. Dynamics of agrochemical indicators of soils of pig farm during 10-year period of its operation. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2024;(1):7–12. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-1-002

24. Paramonova T. A., Chernogaeva G. M., Lukyanova N. N., Paramonov M. S. Heavy metals in urban soils of the Volga federal district: a conjugate analysis of official data. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2023;(11):1472–1488. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X23600300

25. Sycheva D. G., Kosheleva N. E. Ecological and geochemical state of soil cover in Gusinoozersk in the zone of influence of coal thermal power plant. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2023;(8):953–969. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X23600270

26. Koptsik G. N., Smirnova I. E., Koptsik S. V. Analysis of ecological and genetic soil properties for forest ecosystem monitoring in the zone of coniferous-broad-leaved forests. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2023;(10):1269–1284. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X23600592

27. Mihailović D. T., Dresković N., Arsenić I., Ćivić V., Durdević V., Mimić G., Pap I. I., Balaž I. Impact of climate change on soil thermal and moisture regimes in Serbia: An analysis with data from regional climate simulations under SRES-A1B. Science of The Total Environment. 2016;571:398–409. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.142

28. Lednev A. V., Kudryavtsev I. M. Soil cover changes during the period between surveys (1992–2021) on the example of the land site of the Udmurt Research Institute of Agriculture. *Agrofizika* = Agrophysica**.** 2022;(2):7–12. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25695/AGRPH.2022.02.02

29. Kiseleva A. N., Kurmasheva N. G., Asylbaev I. G., Khasanov A. N., Nizametdinov Z. M. Monitoring of soil cover change in the northern forest-steppe zone of the republic of Bashkortostan (on the example of the Iglinsky district). *Agrofizika* = Agrophysica. 2021;(3):27–34. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25695/AGRPH.2021.03.05

30. Kovrigo V. P. Soils of the Udmurt Republic. Izhevsk: *RIO Izhevskaya GSKhA*, 2004. 489 p.

31. Lednev A. V., Lozhkin A. V. Changes of agro-soddy-podzolic soils properties in the Udmurt Republic from 1992 to 2022. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2023;(5):33–39. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-5-006

Сведения об авторах

✉ **Леднев Андрей Викторович**, доктор с.-х. наук, доцент, руководитель Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина, д. 1, с. Первомайский, Завьяловского района, Российская Федерация 427007, e-mail: ugniish@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8602-768x**, e-mail: av-lednev@yandex.ru

Ложкин Андрей Владимирович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник управления НИР Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина, д. 1, с. Первомайский, Завьяловского района, Российская Федерация, 427007, e-mail: ugniish@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9654-7462**

Кудрявцев Иван Михайлович, аспирант, младший научный сотрудник Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина, д. 1, с. Первомайский, Завьяловского района, Российская Федерация, 427007, e-mail: ugniish@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2609-4856**

Information about the authors

✉ **Andrey V. Lednev**, DSc in Agricultural Science, associate professor, Head of the Udmurt of Sciences Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal State Budgetary of Sciences Institution «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», st. Lenin, 1, v. Pervomaisky, Zavyalovsky district, Russian Federation, 427007, e-mail: ugniish@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8602-768x,** e-mail: av-lednev@yandex.ru

Andrey V. Lozhkin, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Research Department, Udmurt of Sciences Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal State Budgetary of Sciences Institution «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», st. Lenin, 1, v. Pervomaisky, Zavyalovsky district, Russian Federation, 427007, e-mail: ugniish@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9654-7462**

Ivan M. Kudryavtsev, postgraduate, **junior researcher,** Udmurt of Sciences Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal State Budgetary of Sciences Institution «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», st. Lenin, 1, v. Pervomaisky, Zavyalovsky district, Russian Federation, 427007, e-mail: ugniish@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2609-4856**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.877–888
УДК 631.45 (571.53)

Использование и оценка современного состояния почв наиболее плодородных земель юго-восточного Предбайкалья

© 2024. И. А. Белозерцева✉, Д. Н. Лопатина
ФГБУН Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Российская Федерация

По итогам работ, проведенных в 2023-2024 гг., описаны использование и уровень плодородия почв освоенных земель сельскохозяйственного назначения юго-восточного Предбайкалья (Баяндаевский и Эхирит-Булагатский районы Иркутской области), площадь которых в исследуемых районах составляет 48 %, из них более половины в земледелии не используется с 1990-х гг. после «перестройки» государственной системы. В регионе отмечаются относительно благоприятные природно-климатические условия (выровненный рельеф, сумма активных температур до 1800 °С, продолжительность теплого периода до 104 дней, отсутствие многолетней мерзлоты и др.). Авторами предложена шкала качественной оценки возможности использования земель в сельском хозяйстве, разработана оценка состояния уровня плодородия почв с учетом их региональных особенностей. Установлено, что почвы большей части территории по основным агрофизическим и агрохимическим показателям (плотность, содержание фракции «физической глины», гумуса, нитратов, агрономически ценных агрегатов, подвижного фосфора и калия) оцениваются как «хорошие» (иногда «отличные», редко «неудовлетворительные»). «Отличное» состояние почв зафиксировано на «фоновых» территориях, которые не задействованы в хозяйственной деятельности человека. По таким агрофизическим показателям как содержание фракции физической глины, а иногда агрономически ценных агрегатов и плотность почвы являются в основном «неудовлетворительными» и «плохими» для использования их в целях выращивания агрокультур, что в основном обусловлено природными факторами (почвообразующими породами). Район располагает запасом заброшенных сельскохозяйственных земель. Почвы залежей большей частью имеют хороший и средний уровни плодородия и могут быть введены в сельскохозяйственный оборот.

Ключевые слова: *показатели плодородия, сельскохозяйственные земли, Баяндаевский и Эхирит-Булагатский районы Иркутской области*

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке регионального гранта Российского научного фонда и Министерства экономического развития и промышленности Иркутской области (проект № 23-27-10013 (05-62-824/24).
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

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

Для цитирования: Белозерцева И. А., Лопатина Д. Н. Использование и оценка современного состояния почв наиболее плодородных земель юго-восточного Предбайкалья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):877–888. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.877-888

Поступила: 10.07.2024 Принята к публикации: 10.10.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Use and assessment of the current state of soils of the most fertile lands of the southeastern Baikal region

© 2024. Irina A. Belozertseva✉, Darya N. Lopatina
V. B. Sochava Institute of Geography of Siberian Branch RAS, Irkutsk, Russian Federation

Based on the results of the work carried out by the authors in 2023-2024 the article describes the use and level of fertility of soils of agricultural use of the southeastern Baikal region (Bayandaevsky and Ekhirit-Bulagatsky districts of the Irkutsk region). The area of agricultural land in the region is 48 %, of which more than half is not used in agriculture, abandoned since the 1990-s, after the «restructuring» of the government system. The region has relatively good natural and climatic conditions (levelled relief, the sum of active temperatures up to 1800 °C, the duration of the warm period to 104 дней, the absence of permafrost, etc.). There was proposed a scale of qualitative assessment of the possibility of using land in agriculture, developed an assessment of the state of soil fertility, taking into account their regional characteristics. It has been established that the soils of most of the territory according to the main agrophysical and agrochemical indicators (density, content of the fraction of «physical clay», humus, nitrates, agronomically valuable aggregates, mobile phosphorus and potassium) are assessed as «good» (sometimes «excellent», rarely «unsatisfactory»). «Excellent» soil condition is observed in the background territories untouched by human economic activity. According to such agrophysical indicators as the content of the fraction of physical clay, and sometimes agronomically valuable aggregates and soil density, they are mainly «unsatisfactory» and «bad» for their use for growing agricultural crops, which is mainly due to natural factors (rocks). There is a reserve of agricultural land for use in the form of abandoned land. The soils of most of the abandoned lands of the studied areas have a good and average level of fertility and can be introduced into agricultural circulation.

Keywords: *fertility indicators, agricultural land, Bayandaevsky and Ekhirit-Bulagatsky districts of Irkutsk region*

Acknowledgements: the study was carried out with the financial support of the regional grant of the Russian Science Foundation and the Ministry for Economic Development and Industry of Irkutsk region (Project No. 23-27-10013 (05-62-824/24)
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: Belozertseva I. A., Lopatina D. N. Use and assessment of the current state of soils of the most fertile lands of the southeastern Baikal region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):877–888. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.877-888

Received: 10.07.2024 Accepted for publication: 10.10.2024 Published online: 30.10.2024

Иркутская область обладает обширной площадью земельных ресурсов – 4,5 % территории России, на большей части которой находятся горные хребты, нагорья, средневысотные плато. Бóльшую часть земель области (более 70 %) занимают земли под лесной растительностью, площадь сельскохозяйственных земель составляет около 4 %, из них около половины – заброшенные земли. В пользовании предприятий и хозяйств области, занимающихся сельскохозяйственным производством, находится 7 % земель [1]. По официальной статистике Росстата[1] площадь сельскохозяйственных земель в Иркутской области в 1990 г. составляла 157 тыс. га, в 2019 г. – 71 тыс. га. С развалом колхозов и совхозов было заброшено более 50 % бывших сельскохозяйственных угодий.

Иркутско-Черемховскую равнину с соседними остепненными участками, занимающую 11 % площади территории области, сибирские ученые называют «Иркутский амфитеатр», земли которых интенсивно используются в сельском хозяйстве. Согласно почвенно-географическому районированию В. А. Кузьмина[2], территория входит в округа дерново-карбонатных (темногумусовых) и черноземов, дерново-подзолистых и серых (лесных) почв равнин в пределах подтайги, лесостепи и островных степей подпровинции почв равнин и низких плато провинции Иркутского амфитеатра. Выделы почвенных округов занимают большие площади и выходят за пределы территории исследования. В работе применено административное деление территории, так как исследования касаются землепользования, а также для того, чтобы результаты работы использовали аграрии, то есть имели практическое применение. При картографировании земель в крупном масштабе ученые обычно также используют административные границы.

Площадь Баяндаевского и Эхирит-Булагатского районов составляет 8,9 тыс. км^2 (1,6 % территории области). В общей структуре производства сельское хозяйство занимает 60 %. Основу сельского хозяйства составляют 7 сельхозорганизаций. Кроме этого, в районе работает 160 крестьянско-фермерских хозяйств и находится около 4 тыс. личных подсобных хозяйств.

Работы отечественных ученых посвящены оценке современного состояния российских сельхозугодий и повышению уровня плодородия почв [2, 3, 4, 5, 6]. Ученые отмечают низкое содержание основных элементов питания в почвах под сельхозугодьями. В. Г. Сычев, С. А. Шафран, С. Б. Виноградова пишут: «Многочисленные эксперименты показали, что увеличить урожайность можно только за счет систематического и целенаправленного использования удобрений, химической мелиорации и средств защиты растений…» [3, стр. 5]. По оценкам ВНИИ агрохимии, при использовании удобрений производство зерна возрастает в 2 раза и более. Со времени «перестройки», сократилось применение удобрений. «Баланс питательных веществ в агропочвах в стране стал складываться в негативную сторону, объем их выноса из почв вырос в 3-4 раза относительно поступления» [3, стр. 5]. Эти отрицательные изменения свойственны почвам регионов Нечерноземья. Процесс восстановления сельского хозяйства в отдаленных регионах только начинается, в том числе и в исследуемых районах.

Агрохимической характеристике почв Иркутской области и прилегающих территорий посвящены работы А. А. Шпедт и др. [7], А. А. Козловой и др. [8], Л. Л. Убугунова [9], Д. Н. Лопатиной, И. А. Белозерцевой [1], В. И. Солодун[3], В. А. Серышева [10], Ш. Д. Хисматуллина, В. И. Бычкова[4], Л. И. Калеп [11] и др.

[1]Росстат. [Электронный ресурс].
URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/VSXP_2016_T_3_web.pdf (дата обращения: 10.08.2024).
[2]Кузьмин В. А. Почвенный покров. Почвенно-географическое районирование. Атлас Иркутской области. Иркутск-М.: ИГ СО РАН, 2004. С. 40–41.
[3]Солодун В. И. Агроландшафтное районирование Иркутской области: учебно-методическое пособие. Иркутск: изд-во Ир ГАУ им. А. А. Ежевского, 2016. 215 с.
URL: https://irsau.ru/sveden/files/38.04.02/4.1.1._B1.V.DV.2.2_MM_Agrolandsh_rayonir.pdf
[4]Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. М., Иркутск: ИГ СО РАН, 2004. 90 с.
URL: http://irkipedia.ru/content/irkutskaya_oblast_ekologicheskie_usloviya_razvitiya_atlas_2004

Опубликованы карты: «Почвенное районирование. Атлас Байкальского региона»[5]; «Почвенно-географическое районирование. Атлас Иркутской области», «Эрозия почв»; «Трансформация пахотных земель»; «Почвы. Экологический атлас Байкальского региона»[6]. Осуществлено природно-мелиоративное районирование Приангарья[7].

Опубликованных картографических и агрохимических работ, связанных с обследованием постагрогенных почв Баяндаевского и Эхирит-Булагатского районов Иркутской области, нет. В связи с этим исследование актуально, имеет практическое значение для развития региона и страны в целом.

Цель исследования – определить точные площади и составить карту используемых и залежных сельскохозяйственных земель, дать качественную оценку состояния их плодородия и возможность ввода заброшенных угодий в оборот.

Научная новизна – предложена шкала качественной оценки возможности использования земель в сельском хозяйстве (для выращивания культурных растений). Разработан авторский подход к оценке уровня плодородия земель по почвенным показателям (с учетом региональных особенностей), выражающийся в индексе плодородия почв (ИП). Данный индекс показывает качественную (а также количественную на период проведения исследований) оценку одновременно всех показателей почв. Его преимущество в том, что не нужно углубляться и возвращаться обратно в расчеты, чтобы понять из-за каких именно показателей получается низкий или высокий общий индекс (в нашем случае ОП – оценка плодородия).

Материал и методы. Объект исследования – почвы Баяндаевского и Эхирит-Булагатского районов Иркутской области. В соответствии с действующими ГОСТами (28168-89, Р 58595-2019, 17.4.4.02-84) в 2023-2024 гг. отобрано более 130 почвенных образцов из 27 основных разрезов и 35 прикопок на пашнях и залежах, а также на фоновых участках. Систематика почв проведена по принципам «Классификации и диагностики почв России»[8].

Химико-аналитические работы проводили в соответствии с общими требованиями в Химико-аналитическом центре Института географии СО РАН и общепринятыми методиками[9]. Величина pH определена потенциометрическим методом, содержание гумуса – методом Тюрина. Для определения содержания подвижного калия и фосфора применен метод Мачигина, так как почвы исследованной территории не имеют кислой реакции. Метод ЦИНАО применяли для обменного аммония и нитратов, метод Савинова – для структурности почв.

В Quantum-GIS создана карта-схема землепользования района с использованием крупномасштабных карт (топографических, космических и авиационных снимков), а также описаний основных площадок. Используемые и залежные земли в сельском хозяйстве определяли на основе сравнения космо- и авиаснимков разных лет.

Результаты и их обсуждение. С помощью полевых и камеральных работ созданы карты использования земель Баяндаевского и Эхирит-Булагатского районов в 1988, 2013 и 2023 гг. (рис. 1, 2). По данным составленных карт, в 2023 г. 48,3 % исследуемой территории составляют сельскохозяйственные земли (15,6 % – залежь, 9,6 % – пашня, 23,1 % – пастбища). Остальная территория занимает 51,7 % от общей площади, главным образом это земли под лесами и населенными пунктами. В 1988 г. весь потенциал сельскохозяйственных земель Баяндаевского района практически использовался полностью под пашни, в Эхирит-Булагатском районе в земледелии было задействовано 18 % земель. После «перестройки» государственной системы с 1990 годов произошло увеличение площади заброшенных земель. Процесс возрождения отечественного сельского хозяйства ускорился в последние годы из-за западных санкций, когда их продукция ушла с рынка и зачастую некачественная[10] [12].

[5]Мартынов А. В., Мартынов В. П., Цыбжитов Ц. Х., Кузьмин В. А. Карта почвенного покрова. Мб. 1:2 500000. Байкал. Атлас. М.: Федеральная служба геодезии и картографии, 1993. С. 130–131.

[6]Белозерцева И. А., Убугунов Л. Л., Сороковой А. А., Убугунов В. Л., Доржготов Д., Убугунова В. И., Гынинова А. Б., Батхишиг О., Бадмаев Н. Б., Балсанова Л. Д., Гончиков Б. Н., Цыбикдоржиев Ц. Д-Ц. Почвы. Экологический атлас Байкальского региона. 2017. [Электронный ресурс геопортала]. Карта № 57. URL: http://atlas.isc.irk.ru

[7]Лопатовская О. Г., Сугаченко А. А. Мелиорация почв. Засоленные почвы: учебное пособие. Иркутск: изд-во Иркутского гос. ун-та, 2010. 101 с.

[8]Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН, 2004. 342 с. URL: http://soils.narod.ru/obekt/obekt.html

[9]Теория и практика химического анализа почв. Под ред. Л. А. Воробьева. М.: ГЕОС, 2006. 399 с.

[10]Рожков Е. «Ножки Буша» опасны для здоровья. Вести недели – РТР. Архивная копия от 17 октября 2007 на Wayback Machine. [Электронный ресурс]. URL: https://vesti7.ru/archive/news?id=616 (дата обращения: 12.05.2024).

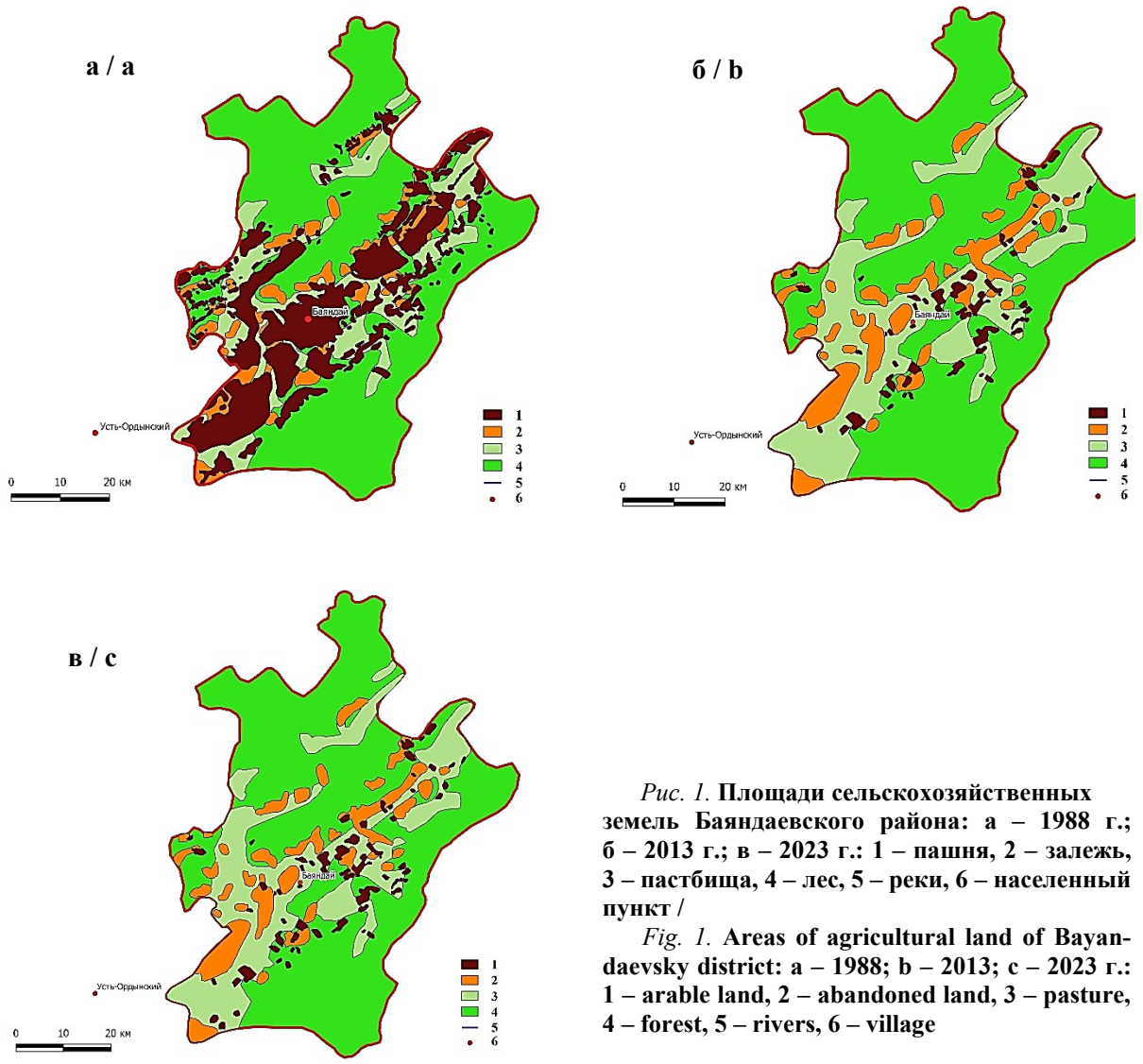


Рис. 1. **Площади сельскохозяйственных земель Баяндаевского района: а – 1988 г.; б – 2013 г.; в – 2023 г.: 1 – пашня, 2 – залежь, 3 – пастбища, 4 – лес, 5 – реки, 6 – населенный пункт /**

Fig. 1. **Areas of agricultural land of Bayandaevsky district: a – 1988; b – 2013; c – 2023 г.: 1 – arable land, 2 – abandoned land, 3 – pasture, 4 – forest, 5 – rivers, 6 – village**

За последние 10 лет площадь пахотных земель в исследуемых районах несколько увеличилась (на 13 %) [1]. Возвращение заброшенных земель в оборот может рассматриваться как потенциал роста сельскохозяйственного производства.

В районах исследования распространены следующие почвы: дерново-подзолистые, серые, черноземы, черноземы глинисто-иллювиальные, темногумусовые. По долинам рек имеется комплекс аллювиальных почв (слоисто-аллювиальные, аллювиальные гумусовые, торфяно (перегнойно)-глеевые), встречаются черноземы глинисто-иллювиальные глеевые, гумусово-гидроморфические, перегнойно-гидроморфические и другие почвы. Бóльшая часть черноземов, серых и темногумусовых почв ранее использовались в сельском хозяйстве, часть их заброшена.

Сельскохозяйственные земли заняты антропогенными аналогами (агрочерноземы глинисто-иллювиальные, агроземы темные, агросерые, агротемногумусовые и др.) естественных почв (черноземов, темногумусовых, серых почв и др.). Бóльшая часть пахотных земель расположена вблизи основных населённых пунктов.

Условия произрастания культурных растений в исследуемых районах одни из лучших в Иркутской области. Выровненный рельеф, средняя высота над уровнем моря – 600–700 м, до 1048 м на севере района. Естественная растительность представлена: сосновыми и лиственнично-сосновыми, травяными и мелкотравно-разнотравными, остепненными лесами и лугами, степями высокой и средней продуктивности (40–80 ц/га).

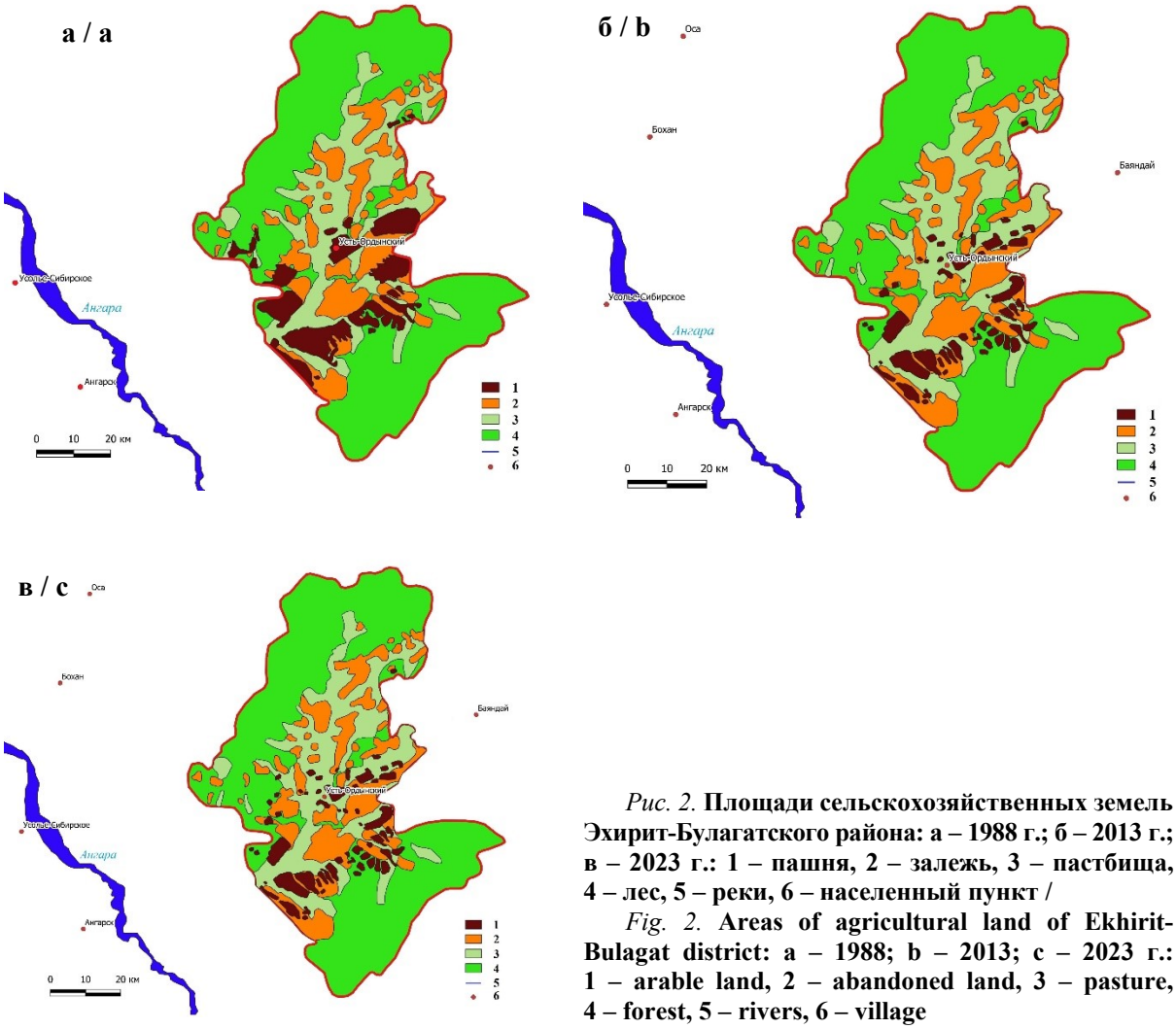


Рис. 2. **Площади сельскохозяйственных земель Эхирит-Булагатского района: а – 1988 г.; б – 2013 г.; в – 2023 г.: 1 – пашня, 2 – залежь, 3 – пастбища, 4 – лес, 5 – реки, 6 – населенный пункт /**

Fig. 2. **Areas of agricultural land of Ekhirit-Bulagat district: a – 1988; b – 2013; c – 2023 г.: 1 – arable land, 2 – abandoned land, 3 – pasture, 4 – forest, 5 – rivers, 6 – village**

Условия недостаточного увлажнения (индекс сухости по [13] от 1,5 до 2,5), умеренно теплые и теплые (сумма активных температур от 1400 до 1800 °С)[11]. Периодически наблюдается засушливость первой половины лета. На территории исследования распространены следующие породы: аргиллиты, алевролиты, бескарбонатные песчаники, известняки, красноцветные карбонатно-силикатные отложения. Многолетняя мерзлота отсутствует, теплый период с температурой воздуха более 10 °С – 90-104 дней, период с отрицательной температурой воздуха – 5-6 месяцев. Земли под лугово-степной растительностью с черноземами, темно-гумусовыми, перегнойно(гумусово)-гидроморфическими, серыми, аллювиальными гумусовыми и перегнойно-глеевыми почвами занимают 67 % площади исследуемых районов и пригодны для земледелия и выпаса скота.

Для характеристики состояния плодородия почв исследуемых районов рекомендуется использовать показатели: плотность, содержание гумуса, главных элементов питания растений, физической глины (сумма фракций менее 0,01 мм) и агрономически ценных агрегатов (размером от 0,25 до 10 мм). Выбраны показатели почвенной среды, которые являются «прямыми», а не «косвенными» индикаторами благоприятных условий произрастания культурных растений и часто используемые на практике аграриями и предпринимателями сельского хозяйства.

Как указывает А. Е. Возбуцкая: «Накопление нитратов в почве свидетельствует о ее хорошем «санитарном» состоянии – те же физические и химические свойства и условия, которые благоприятны для большинства культурных растений»[12]. Мобильностью в почве

[11]URL: http://atlas.isc.irk.ru

[12]Возбуцкая А. Е. Химия почвы. М.: Высшая школа, 1968. С. 327.

отмечаются нитраты, относительно малоподвижен в почве аммонийный азот. Шкала и гигиеническая норма содержания аммонийного азота в почвах пока не разработаны, так как этот показатель динамичен, а увеличение его количества не оказывает токсического воздействия на культурные растения.

Агрономически ценные агрегаты (0,25–10 мм) положительно влияют на воздухопроницаемость и водопроницаемость. Нормальной плотностью почв принято считать показатели до 1,0-1,1 г/см^3, переуплотненные со средней степенью уплотнения – 1,3–1,5 г/см^3, с сильной степенью – более 1,5 г/см^3 и более [14].

На основе полученных результатов и различных шкал [14, 15][13] составлена схема качественной оценки состояния земель по плотности, содержанию гумуса, нитратов, подвижного фосфора и калия (для зерновых культур), физической глины, агрономически ценных агрегатов в почве (табл. 1). Шкала разработана для качественной оценки возможности использования земель в сельском хозяйстве (для выращивания культурных растений). В нашем случае она приемлема и для агрочерноземов, и для агродерново-подзолистых почв, так как в исследуемых районах области агродерново-подзолистые почвы не имеют кислой реакции и будут использоваться для дальнейшего выращивания культурных (например, зерновых) растений. Для того чтобы применять данную шкалу в целях ведения лесного хозяйства (выращивание лесной растительности) необходим другой набор показателей и методик.

Таблица 1 – **Схема качественной оценки состояния земель по почвенным показателям: плотность, содержание физической глины, агрономически ценных агрегатов, гумуса, нитратов, подвижного фосфора и калия /**
Table 1 – **The scheme of land condition assessment by indicators of soils: density, content of physical clay, agronomically valuable aggregates, humus, nitrates, mobile phosphorus and potassium**

P_2O_5, мг/кг	*K_2O, мг/кг*	*N-NO^3, мг/кг*	*Гумус, %*	*А, %*	*У*	*Г, %*	*D г/см^3*	*ОП / Assessment of fertility*	*Сумма баллов / Amount of points*
>150	>400	20-130	>8,0	>80	Высокое / High	30-40	<1,1	5 баллов отличное / 5 points excellent condition	>25
101-150	301-400	15-20	5,1-8,0	60-80	Вышесреднего / Above average	20-30	1,2-1,1	4 Хорошее / Good	19-25
51-100	201-300	8-15	3,1-5,0	40-60	Среднее / Average	10-20	1,2-1,3	3 Удовлетворительное / Satisfactory	16-19
26-50	101-200	4-8	2,1-3,0	20-40	Низкое / Low	<10	1,3-1,5	2 Неудовлетворительное / Unsatisfactory	11-15
<25	<100	<4, >130	<1	<20	Очень низкое / Very low	>40	>1,5	1 Плохое / Bad	<11

Примечания: А – содержание агрономически ценной структуры (%); У – уровень содержания P_2O_5, K_2O, N-NO^3, гумуса; Г – содержание физической глины (частиц < 0,01 мм); D – плотность по [14, 15][13]; ОП (от 5 до 1) – оценка состояния плодородия почв (отличное – плохое) /

Notes: А – content of agronomically valuable structure (%); У – level of content of P_2O_5, K_2O, N-NO^3, humus; Г – content of physical clay (particles < 0.01 mm); D – density according to [14, 15][13]; ОП (from 5 to 1) – assessment of the state of soil fertility (excellent – poor)

Сводные показатели по сумме баллов (ОП – оценка плодородия почв) даны в таблице 2. Однако обобщающие характеристики и оценки, которые наиболее разработаны в научном мире («АИ – агрохимический индекс», «ПИ – почвенный индекс», «ПЭИ – почвенно-экологический индекс» [7, 16] и другие, в итоге всех расчетов выражаются в одной цифре и маскируют плохое состояние отдельных показателей. Например, низкий «АИ» по одной цифре сразу определить мы не можем. Необходимо углубляться в расчеты. Стоит отметить и достоинства индекса «ПЭИ» как комплексного показателя свойств почв и климатических условий. Но в итоге всех расчетов мы все же имеем одну цифру.

[13]Воробьева Г. А., Киселева Н. Д. Морфоаналитическая диагностика почв. Имитационно-обучающий тренинг по интерпретации результатов исследования почв. Иркутск: ИГУ, 2023. 145 с. URL: https://www.cnshb.ru/content/2024/04285085.pdf

Таблица 2 – **Некоторые показатели почв основных ключевых площадок Баяндаевского и Эхирит-Булагатского районов /**
Table 2 – **Some soil indicators of the main key sites of Bayandayevsky and Ekhirit-Bulagatsky districts**

Место-положение / Location	*Растительность, использование / Vegetation, use*	*Почва / Soils*	*Гори-зонт / Horizon*	*$pH_{вод}$*	*Гумус, % / Humus*	*N-NH_4 мг/кг*	*N-NO^3 мг/кг*	*P_2O_5 мг/кг*	*K_2O, мг/кг*	*Г, %*	*D, г/см^3*	*А, %*	*∑Б*	*ОП*	*ИП / Fertility index*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,5 км на север от п. Усть-Ордынский / 1.5 km north of the village of Ust-Orda	Пар, пастбище, полынно-разнотравно-злаковый остепненный луг / Fallow, pasture, wormwood motley grass - grasses-steppe meadow	Агрозем темный / Anthrosol PU 0-21 Cca 21 см / cm	PU	8,0	3,1 3	14,84	28,70 5	108 4	420 5	44 1	1,29 3	39,7 2	23	X	$\frac{C_3N_5P_4K_5D_3}{Г_1A_2}$
1,3 км на С-З от с. Кулункун / 1.3 km to the north-west of the v. of Kulunkun	Пашня, рапс / Arable land, rapeseed	Агротемногумусовая / Anthrosol PU 0-20 AU 20-32 C 32	P	8,1	2,6 2	14,75	30,90 5	110 4	316 4	43 1	1,30 2	64,8 4	22	X	$\frac{N_5P_4K_4A_4}{C_2Г_1D_2}$
2,8 км на С-З от с. Кулункун / 2.8 km to the north-west of the v. of Kulunkun	Сосняк злаково-разнотравный, залежь более 30 лет / Pine grass forest, deposit for more than 30 years	Агродерново-подзолистая / Anthrosol AY 0-5 P 5-19 BEL 19-22 BT 22-24 C 24	AY	6,5	5,7 4	22,28	1,00 1	230 5	289 3	36 5	0,88 5	40,3 3	26	X	$\frac{C_4P_5K_3Г_5D_5A_3}{N_1}$
2 км на С-З от п. Усть-Ордынский / 2 km to the north-west of Ust-Orda	Пашня, Рожь / Arable land, Rye	Агрочернозем глинисто-иллювиальный / Anthrosol PU 0-20 AU 20-31 BI 31-45 C 45	PU	7,2	5,4 4	5,34	1,80 1	39 2	175 2	41 1	1,48 2	24,4 2	14	H	$\frac{C_4}{N_1C_2P_2K_2Г_1D_2}$
500 м на запад от д. Большая Кура / 500 m west of the v. of Bolshaya Kura	Залежь 8 лет, полынно-злаковая степь / waste lands 8 years, wormwood-cereal steppe	Агрочернозём / Anthrosol PU 0-20 AU 0-45 BCA 45-50 Cca 50	PU	8,2	5,7 4	6,06	8,60 3	25 1	43 1	33 5	1,22 3	77,0 4	21	X	$\frac{C_4N_3Г_5D_3A_4}{P_1K_1}$
2,5 км на С-В от с. Капсал / 2.5 km to the north-east of the v. of Kapsal	Залежь около 20 лет, разнотравно-злаковая степь с полынью и сорной растительностью / Abandoned land 20 years old, motley grass steppe with wormwood and weeds	Агрозем темный / Anthrosol PU 0-30 Cca	PU	7,9	5,2 4	17,06	35,70 5	142 4	498 5	51 1	1,01 5	57,4 3	28	O	$\frac{C_4N_5P_4K_5D_3A_3}{Г_1}$

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2,2 км на Ю-З от с. Баяндай / 2.2 km to the south-west of the v. Bayandai	Фон, разнотравно-злаковый остепненный луг с полынью / Background area, motley grass steppe meadow with wormwood	Чернозём / Chernozem AU 0-30 BCA 30-39 Cca 39	AU	7,6	12,9 / 5	10,72	22,90 / 5	10 / 1	28 / 1	50 / 1	1,00 / 5	83,5 / 5	23	X	$\frac{C_5N_5D_5A_5}{P_1K_1\Gamma_1}$
400 м на юг от д. Мильзан / 400 m south of the v. of Milzan	Пастбище, злаково-разнотравный стравленный остепненный луг с сорной растительностью / Pasture, motley grass grazed steppe meadow with weeds	Агрочернозем / Anthrosol PU 0-20 AU 20-37 BCA 37-48 Cca 48	PU	7,8	12,2 / 5	9,69	5,60 / 2	5 / 1	40 / 1	37 / 5	1,14 / 4	63,9 / 4	22	X	$\frac{C_5\Gamma_5D_4A_4}{N_2P_1K_1}$
1,2 км на С-З от с. Покровка / 1.2 km to the north-west of the v. Pokrovka	Пар, овес с сорной растительностью / Fallow, oats with weeds	Аллювиальная агроперегнойно-глеевая / Anthrosol PU 0-20 H 20-35 G 35	PU	8,2	19,0 / 5	12,22	17,20 / 4	39 / 2	408 / 5	55 / 1	1,21 / 3	43,0 / 3	23	X	$\frac{C_5N_4K_5D_3A_3}{P_2\Gamma_1}$
1,5 км на север от д. Боходдой / 1.5 km north of the village of Boholdoi	Фон, разнотравно-осоково-злаковый заболоченный луг / Background area, grass-sedge-cereal swampy meadow	Аллювиальная перегнойно-глеевая / Fluvisols H 0-37 G 37	H	8,2	16,4 / 5	-	18,1 / 4	78 / 3	670 / 5	36 / 5	0,60 / 5	9,7 / 1	28	O	$\frac{C_5N_4K_5\Gamma_5D_5}{P_2A_1}$
1,5 км на юг от с. Баяндай / 1.5 km south of the v. Bayandai	Злаково-разнотравный остепненный луг с единичными березами / Grass-forb steppe meadow with single birches	Чернозем / Chernozem AU 0-37 BCA 37-45 Cca 45	AU	7,3	30,2 / 14,2 / 5	55,66	7,00 / 2	234 / 5	630 / 5	41 / 1	0,69 / 5	13,4 / 1	24	X	$\frac{C_5P_5K_5D_5}{N_2\Gamma_1A_1}$
1,5 км на С-З от д. Люры / 1.5 km to the north-west of the v. of Lura	Залежь более 10 лет, разнотравно-злаковая степь / Abandoned land for more than 10 years, motley Grass-grasses steppe	Агрочернозем / Anthrosol AU 0-32 BCA 32-40 Cca 40	AU	8,3	7,4 / 4	6,59	1,40 / 1	24 / 1	204 / 3	44 / 1	0,90 / 5	64,7 / 4	19	X	$\frac{C_4K_3D_3A_4}{N_1P_1\Gamma_1}$

Примечание: D – плотность (г/см^3); А – содержание агрономически ценных агрегатов (%); Г – содержание физической глины (%); ∑Б – сумма баллов; ОП – оценка плодородия почв по сумме баллов (отличное – О, хорошее – Х, удовлетворительное – У, неудовлетворительное – Н, плохое – П); Состояние плодородия почв по отдельным компонентам: 5 – отличное, 4 – хорошее, 3 – удовлетворительное, 2 – неудовлетворительное, 1 – плохое; ИП – индекс плодородия, включает содержание: гумуса (С), нитратного азота (N), подвижного фосфора (Р) и калия (К); в числителе показатели в удовлетворительном, хорошем и отличном состоянии, в знаменателе – в неудовлетворительном и плохом /

Notes: D – density (g/cm3); A – content of agronomically valuable aggregates (%); Г – content of physical clay (%); ∑Б – Sum of points (balls); ОП – assessment of soil fertility by the sum of points (excellent – O, good – X, satisfactory – Y, unsatisfactory – H, bad – П); The state of soil fertility for individual components: 5 – excellent, 4 – good, 3 – satisfactory, 2 – unsatisfactory, 1 – poor; ИП – fertility index, it contains: humus (C), nitrate nitrogen (N), mobile phosphorus (P) and potassium (K); in the numerator indicators in satisfactory, good and excellent condition, in the denominator – in unsatisfactory and poor condition

Так, принимая во внимание законы эквивалентности, незаменимости и ограничивающего фактора мы разработали оценку состояния уровня плодородия почв в экспоненциальной форме (индекс плодородия – ИП), указав при этом оценку всех показателей в одном индексе. По ИП можно видеть качественную оценку отдельных показателей почв (например, С – содержание гумуса), находящихся в «хорошем» (числитель) или «плохом» (знаменатель) состояниях. Цифра рядом с показателем (например, С3) показывает количественную оценку. Данный индекс прост и понятен в практическом применении производственниками для качественной (а также количественной на период проведения опытов) оценки земель и возможного их дальнейшего использования в сельском хозяйстве. Для конкретных мероприятий по повышению уровня плодородия почв необходимы дополнительные исследования, например, по содержанию соединений азота, так как они мобильны или pH солевой вытяжки (в случае кислых почв). При необходимости (в различных условиях) можно в ИП вводить новые показатели.

Используемые в расчете ИП показатели: С – содержание гумуса; N – нитратного азота; Р – фосфора; К – калия;А – агромонически ценных агрегатов; Г – физической глины; D – плотность почв. Числитель дает показатели с удовлетворительными (3 балла), хорошими (4) и отличными (5) состояниями, знаменатель – с неудовлетворительными (2) и плохими (1).

Например, ИП первой площадки:

$$\frac{C_3N_5P_4K_5D_3}{\Gamma_1A_2},$$

где C_3 – содержание гумуса среднее (состояние – удовлетворительное); N_5 – содержание нитратного азота очень высокое (отличное); P_4 – содержание подвижного фосфора выше среднего (хорошее); K_5 – содержание подвижного калия высокое (отличное); D_3 – плотность почв средняя (удовлетворительное); Γ_1 – содержание физической глины высокое (плохое); A_2 – содержание агрономических ценных агрегатов низкое (неудовлетворительное).

Из ИП первого участка видно, что большинство показателей находятся в «отличном», «хорошем» и «удовлетворительном» состоянии, в «плохом» и «неудовлетворительном» показатели: содержание физической глины (высокая концентрация) и агрономически ценных агрегатов (низкая). По сумме баллов всех показателей (ОП = 23) почвы находятся в «хорошем» состоянии.

По предложенной схеме проведена оценка уровня плодородия почв ключевых участков района в баллах и в виде индекса.

Близкой к нейтральной, нейтральной и слабощелочной реакции (pHводн от 7,2 до 6,5) обладают серые, черноземы глинисто-иллювиальные почвы и их агрогенные аналоги. (Агро)дерново-подзолистые почвы, которые иногда используют в сельском хозяйстве области, часто имеют близкую к нейтральной реакцию верхних горизонтов и слабощелочную реакцию подстилающих пород, что является спецификой региона (литологическая неоднородность почвообразующих и подстилающих пород). Почвы с кислой реакцией в исследуемых Баяндаевском и Эхирит-Булагатском районах встречаются очень редко, хотя в целом по Иркутской области они имеют широкое распространение. Слабощелочную и щелочную реакцию ($pH_{водн}$ – 7,2–8,3) имеют почвы сельхозугодий, в следствии припахивания нижних карбонатных горизонтов. Для характеристики кислых почв и расчета нормативов внесения извести используется pH солевой вытяжки. В исследуемом районе кислые почвы на сельхозугодьях не встречаются, поэтому данный показатель не использовали. Известкование почв не требуется. В почвах большинства площадок содержание гумуса имеет значения среднего, выше среднего и высокого уровня (удовлетворительное, хорошее и отличное состояние). Концентрация гумуса в почвах колеблется от низкого (2,6 %) на пашнях до высокого (14,2 %) уровня на условно «фоновых» участках. В агротемно-гумусовой, агроземе темном под паром и на пашне (п. Усть-Ордынский, с. Кулункун) зафиксировано самое низкое содержания гумуса (2,6–3,1 %). В аллювиальных перегнойно-глеевых, аллювиальных агроперегнойно-глеевых, черноземах и агрочерноземах фоновых, используемых и заброшенных участков Баяндаевкого района наблюдается повышенное содержание гумуса (12,2–19,0 %).

Содержание подвижного фосфора в гумусовых горизонтах почв варьирует от низкого и очень низкого (5–39 мг/кг) на различных участках (фоновых, используемых и залежных) до высокого (230–234 мг/кг) в естественных ландшафтах, что связано с разнообразием пород. Почвы большинства изученных площадок среднего и высокого уровней содержания калия (204–670 мг/кг). Высокая и низкая концентрация калия установлена в почвах фоновых, используемых и заброшенных участков, что также связано с разнообразием пород.

Содержание аммиачного азота в верхних горизонтах составляет 5,3–55,7 мг/кг. Концентрация нитратов не превышает гигиенические нормы, варьирует от 1,0 до 30,9 мг/кг. Большинство исследуемых участков характеризуется содержанием нитратов в почвах средними и высокими значениями. Содержание нитратов в дерново-подзолистых почвах под лесом, а также в черноземе и агрочерноземе глинисто-иллювиальном некоторых пашен и залежей очень низкое. Самые высокие значения нитратов в почвах встречаются на пашнях (как следствие применения удобрений) и залежах более 20 лет.

По содержанию физической глины (фракции частиц < 0,001 мм – от 33 до 55 %) почвы в основном находятся в плохом состоянии, иногда в отличном, что связано в бóльшей части с естественными факторами и наследовано от подстилающих пород.

Показатели плотности почв варьируют от 0,60 до 1,48 г/см^3 в верхних горизонтах исследованных почв, что говорит об их различном состоянии от отличного до неудовлетворительного. Самые высокие показатели плотности установлены в пахотных и подпахотных горизонтах почв, самые лучшие (низкие) – в почвах фоновой территории.

Содержание агрономически ценных агрегатов в гумусовых и пахотных горизонтах составляет от 10 до 84 %, что свидетельствует о разнообразном состоянии структуры (от «плохой» до «отличной»). «Отличное» состояние структуры отмечено в подпахотных горизонтах агрочерноземов и агроземов темных под паром и в темногумусовых горизонтах фоновых участков.

Таким образом, в связи с благоприятными климатическими условиями небольшого участка Иркутско-Черемховской равнины относительно всей области, окруженного средневысотными плато и горными хребтами, большая часть земель Баяндаевского и Эхирит-Булагатского районов характеризуется положительными характеристиками агрохимических и агрофизических свойств.

Заключение. На основе полученных результатов разработана шкала для качественной оценки возможности использования земель в сельском хозяйстве (для культурных зерновых растений). Предложен методический подход к оценке уровня плодородия земель по почвенным показателям с учетом региональных особенностей. В результате проведенных исследований выявлено, что состояние плодородия почв бóльшей части площади используемой территории Баяндаевского и Эхирит-Булагатского районов Иркутской области в сельском хозяйстве оценивается как благополучное («хорошее», «отличное»). По составленным картам площадь сельскохозяйственных земель исследуемых районов занимает 48 % территории, из них 16 % – залежи. Отличными показателями характеризуются почвы «фоновых» (незадействованных в хозяйственной деятельности) территорий и залежей более 20 лет. Содержание подвижного фосфора и калия, физической глины в почвах сильно варьирует независимо от использования, что обусловлено разнообразием подстилающих пород.

Бóльшая половина площади как используемых, так и заброшенных сельскохозяйственных земель по показателям уровня плодородия почв оценивается как «хорошее». В некоторых случаях в ряду отрицательных характеристик почв находятся: плотность, содержание основных элементов питания, физической глины, структура. В почвах некоторых площадок имеется малое количество подвижного фосфора и калия, иногда нитратного азота.

По содержанию физической глины и агрономически ценных агрегатов почвы некоторых участков находятся в «плохом» и «удовлетворительном» состояниях. Почвы бóльшей части залежей исследуемых районов имеют хороший и средний уровень плодородия и могут быть введены в сельскохозяйственный оборот. При разумном применении различных мероприятий (посев сидератов, почвоуглубление, рыхление, внесение органических, минеральных удобрений и др.) эти земли пригодны для производства зерна, картофеля, мяса и молока крупного рогатого скота; узкоспециализированной сельскохозяйственной деятельности (свинина, птица и яйцо, овощеводство, плоды и ягоды). Возможно выращивание ранних культур (зернобобовые, картофель, зерновые колосовые и др.).

Список литературы

1. Лопатина Д. Н., Белозерцева И. А. Сельскохозяйственные земли бассейна р. Оса: использование и уровень плодородия. Региональные геосистемы. 2023;47(3):392–405.
DOI: https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-3-392-405 EDN: ERSVQD

2. Шафран С. А. Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны и его резервы. Агрохимия. 2016;(8):3–10. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=26470171 EDN: WHGKOZ

3. Сычев В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования. Агрохимия. 2020;(6):3–13. DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188120060125 EDN: POXVQI

4. Sychev V. G., Naliukhin A. N., Shevtsova L. K., Rukhovich O. V., Belichenko M. V. Influence of fertilizer systems on soils organic carbon content and crop yield: results of Long-term field Experiments at the geographical Network of Research station in Russia. Eurasian Soil Science. 2020;53(12):1794–1808. DOI: https://doi.org/10.1134/S1064229320120133

5. Подколзин А. И. Эффективность удобрений в земледелии Ставрополья. АПК: экономика, управление. 2000;(1):82–84.

6. Агеев В. В., Есаулко А. Н., Стороженко А. Ю., Подколзин А. И. К вопросу биологизации систем удобрения в севооборотах. Бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии им. Д. Н. Прянишникова. 2003;(117):3–5.

7. Шпедт А. А., Козлова А. А., Белозерцева И. А., Гранина Н. И., Лопатовская О. Г., Киселева Н. Д., Куклина С. Л., Мартынова Н. А., Лопатина Д. Н. Почвенно-экологическая оценка сельскохозяйственных земель Красноярского края, Иркутской области, Республики Бурятия. Земледелие. 2022;(1):9–13. DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-1-9-13 EDN: JLLQAT

8. Козлова А. А., Белозерцева И. А., Лопатина Д. Н. Почвы Южного Предбайкалья: разнообразие и закономерности пространственного распространения. География и природные ресурсы. 2021;42(1):103–114. DOI: https://doi.org/10.15372/GIPR20210112 EDN: OUQCHY

9. Убугунов Л. Л. Почвенные ресурсы республики Бурятия, их агроэкологическое состояние и рациональное использованию. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2020;(2(59)):35–46. DOI: https://doi.org/10.34655/bgsha.2020.59.2.005 EDN: SXZGZM

10. Серышев В. А., Солодун В. И. Агроландшафтное районирование Иркутской области. География и природные ресурсы. 2009;(2):86–94. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=12787013 EDN: KTVGZX

11. Калеп Л. Л. К проблеме экологизации аграрного землепользования Байкальской природной территории. География и природные ресурсы. 2003;(2):41–44.

12. Пехтерева Е. А. Регулирование внедрения ГМО в производство продуктов питания: пример Канады. Россия и современный мир. 2023;(1):78–94. DOI: https://doi.org/10.31249/rsm/2023.01.05 EDN: JUKTNG

13. Будыко М. И. Климат и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 470 с.

14. Черемисинов А. Ю., Черемисинов А. А., Плотников С. А. Уплотнение орошаемых почв от воздействия сельскохозяйственных машин. Лесотехнический журнал. 2013;(4):156–160. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=21104508 EDN: RTVOWL

15. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий и рекомендации по применению удобрений в МО «Усть-Алтан» Осинского района Иркутской области. Под ред. М. В. Бутырина. Иркутск: ФГБУ ЦАС «Иркутский», 2009. 27 с.

16. Синявский И. В. Агрохимические и экологические аспекты плодородия чернозёмов лесостепного Зауралья. Челябинск: ЧГАУ, 2001. 274 с.

References

1. Lopatina D. N., Belozertseva I. A. Agricultural land of the Osa river basin: use and level of fertility. *Regional'nye geosistemy* = Regional Geosystems. 2023;47(3):392–405. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-3-392-405

2. Shafran S. A. The dynamics of soil fertility in the non-chernozem zone and its reserves. *Agrokhimiya*. 2016;(8):3–10. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=26470171

3. Sychev V. G., Shafran S. A., Vinogradova S. B. Soil fertility in Russia and ways of its regulation. *Agrokhimiya*. 2020;(6):3–13. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0002188120060125

4. Sychev V. G., Naliukhin A. N., Shevtsova L. K., Rukhovich O. V., Belichenko M. V. Influence of fertilizer systems on soils organic carbon content and crop yield: results of Long-term field Experiments at the geographical Network of Research station in Russia. Eurasian Soil Science. 2020;53(12):1794–1808. DOI: https://doi.org/10.1134/S1064229320120133

5. Podkolzin A. I. The effectiveness of fertilizers in Stavropol agriculture. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2000;(1):82–84. (In Russ.).

6. Ageev V. V., Esaulko A. N., Storozhenko A. Yu., Podkolzin A. I. On the issue of biologization of fertilizer systems in crop rotations. *Byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta agrokhimii im. D. N. Pryanishnikova*. 2003;(117):3–5. (In Russ.).

7. Shpedt A. A., Kozlova A. A., Belozertseva I. A., Granina N. I., Lopatovskaya O. G., Kiseleva N. D., Kuklina S. L., Martynova N. A., Lopatina D. N. Soil and ecological assessment of agricultural lands in the Krasnoyarsk territory, Irkutsk region, and the Republic of Buryatia. *Zemledelie*. 2022;(1):9–13. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-1-9-13

8. Kozlova A. A., Belozertseva I. A., Lopatina D. N. Soils of Southern Cisbaikalia: diversity and spatial distribution patterns. *Geografiya i prirodnye resursy* = Geography and Natural Resources. 2021;42(1):103–114. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15372/GIPR20210112

9. Ubugunov L. L. Soil resources of the republic of Buryatia, agroecological conditions and rational use. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova* = Bulletin of Buryat State Academy of Agriculture**.** 2020;(2(59)):35–46. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.34655/bgsha.2020.59.2.005

10. Seryshev V. A., Solodun V. I. Agro-landscape zoning of the Irkutsk region. *Geografiya i prirodnye resursy* = Geography and Natural Resources. 2009;(2):86–94. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=12787013

11. Kalep L. L. On the problem of ecologization of agricultural land use of the Baikal natural territory. *Geografiya i prirodnye resursy* = Geography and Natural Resources. 2003;(2):41–44. (In Russ.).

12. Pekhtereva E. A. Regulation of GMO integration in food production: the case of Canada. *Rossiya i sovremennyy mir* = Russia and the contemporary world. 2023;(1):78–94. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31249/rsm/2023.01.05

13. Budyko M. I. Climate and life. Leningrad: *Gidrometeoizdat*, 1971. 470 p.

14. Cheremisinov A. Yu., Cheremisinov A. A., Plotnikov S. A. Consolidation of irrigated soils from the effects of agricultural machines. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* = Forestry Engineering Journal. 2013;(4):156–160. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=21104508

15. Agrochemical characteristics of soils of agricultural lands and recommendations for the use of fertilizers in the Ust-Altan MO of the Osinsky district of the Irkutsk region. *Pod red. M. V. Butyrina*. Irkutsk: *FGBU TsAS «Irkutskiy»*, 2009. 27 p.

16. Sinyavskiy I. V. Agrochemical and ecological aspects of the fertility of chernozems of the forest-steppe Trans-Urals. Chelyabinsk: *ChGAU*, 2001. 274 p.

Сведения об авторах

✉ **Белозерцева Ирина Александровна**, кандидат геогр. наук, зав. лабораторией, ФГБУН Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Улан-Баторская, д. 1, г. Иркутск, Российская Федерация, 664033, e-mail: postman@irigs.irk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7995-2298,** e-mail: belozia@mail.ru

Лопатина Дарья Николаевна, кандидат геогр. наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Улан-Баторская, д. 1, г. Иркутск, Российская Федерация, 664033, e-mail: postman@irigs.irk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2696-0822**

Information about the authors

✉ **Irina A. Belozertseva**, PhD in Geography, Head of the Laboratory, V. B. Sochava Institute of Geography of Siberian Branch RAS, Ulan-Batorskaya Str., 1, Irkutsk, Russian Federation, 664033, e-mail: postman@irigs.irk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7995-2298,** e-mail: belozia@mail.ru

Darya N. Lopatina, PhD in Geography, senior researcher, V. B. Sochava Institute of Geography of Siberian Branch RAS, Ulan-Batorskaya Str., 1, Irkutsk, Russian Federation, 664033, e-mail: postman@irigs.irk.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2696-0822

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.889–898
УДК 636.2/.082.251/.034

(cc) BY

Сравнительная оценка коров разной линейной принадлежности по их продуктивности и воспроизводительным качествам

© 2024. С. В. Титова✉
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В статье представлены результаты изучения в сравнительном аспекте молочной продуктивности и воспроизводительной способности коров-первотелок черно-пестрой голштинизированной породы в разрезе генеалогических линий. Исходным материалом служила информация первичного зоотехнического и племенного учета коров (n = 3211). Для сравнительного анализа были сформированы группы животных в соответствии с их линейной принадлежностью: первая группа – особи линии Вис Бек Айдиал 1013415, вторая – линии Монтвик Чифтейн 95679, третья – линии Рефлекшн Соверинг 0198998. Установлено, что животные линии В. Б. Айдиал отличались наибольшим коэффициентом молочности (1363 кг) и коэффициентом постоянства лактации (93,2 %). По уровню удоя между группами различия были не существенные. Коровы линии Р. Соверинга обладали лучшими показателями воспроизводительной способности – наименьший возраст первого плодотворного осеменения (16,7 мес.), отела (26,8 мес.) и самый короткий межотельный период (13,4 мес.). Также они превосходили животных сравниваемых линий по коэффициенту воспроизводительной способности (0,91) и индексу плодовитости 46,3. По выходу телят на 100 голов (82,8 %) лучшими были коровы линии М. Чифтейн. Во всех линиях получены положительные коэффициенты корреляции между удоем и сервис- и межотельным периодами (+0,237…+0,278), которые свидетельствуют о том, что с повышением удоя увеличивается продолжительность сервис- и межотельного периодов, а это указывает на процесс ухудшения воспроизводительных способностей коров. Была проведена оценка коров по индексу плодовитости (по Й. Дохи). Установлено, что у коров с оценкой «хорошо» плодовитость по сравнению с животными, получившими оценку «средняя» и «низкая», удой был ниже, сократилась продолжительность сервис-периода и повысилась воспроизводительная способность. Линия Р. Соверинга отличалась наибольшим количеством коров (56,9 % гол.), обладающих хорошей репродуктивной способностью, среднее значение индекса плодовитости составило 51,2. Наличие низких отрицательных коэффициентов корреляции между индексом плодовитости и удоем, на фоне увеличения удоя, свидетельствует о снижении плодовитости коров.

Ключевые слова: *корова, линия, молочная продуктивность, сервис-период, межотельный период, плодовитость, корреляция*

***Благодарности*:** Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2022-0003).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

***Конфликт интересов*:** автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Титова С. В. Сравнительная оценка коров разной линейной принадлежности по их продуктивности и воспроизводительным качествам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):889–898.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.889-898

Поступила: 23.04.2024 Принята к публикации: 06.09.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Comparative evaluation of cows of different lineages according to their productivity and reproductive qualities

© 2024. Svetlana V. Titova✉
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The article presents the results of a comparative study of the milk productivity and reproductive ability of the first-calf cows of the black-and-white Holstein breed in the context of genealogical lines. The initial material was information from the primary zootechnical and breeding records of cows (n = 3211). For comparative analysis, groups of animals were formed in accordance with their linear affiliation: the first group – individuals of the Vis Beck Ideal 1013415 line, the second – the Montwick Chieftain 95679 line, the third – the Reflection Sovering 0198998 line. It was found that the animals of the V. B. Ideal line differed in the highest coefficient of lactation (1363 kg) and the coefficient of lactation constancy (93.2 %). According to the level of milk yield between the groups, the differences were not significant. Cows of the R. Covering line had the best indicators of reproductive ability. They had the lowest age of first fruitful insemination (16.7 months) and calving (26.8 months), as well as the shortest interbody period (13.4 months). They also outperformed the animals of the compared

lines in terms of reproductive ability (0.91) and fertility index (46.3). In terms of calf yield per 100 heads (82.8 %), the best were cows of the M. Chieftain line. In all lines, positive correlation coefficients were obtained between milk yield and service and interbody periods (+0.237...+0.278), which indicate that with an increase in milk yield, the duration of service and interbody periods increases, and this indicates a process of deterioration in the reproductive abilities of cows. Cows were evaluated according to the fertility index (according to I. Dokhi). It was found that cows with a rating of "good" fertility, compared with animals rated "medium" and "low", had lower milk yield, shortened duration of the service period and increased reproductive ability. The line of R. Sovering was distinguished by the largest number of cows (56.9 % heads) with good reproductive ability, the average value of the fertility index was 51.2. The presence of low negative correlation coefficients between the fertility index and milk yield, against the background of an increase in milk yield, indicates a decrease in the fertility of cows.

Keywords: *cow, line, milk productivity, service period, interbody period, fertility, correlation*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme FNWE-2022-0003).

The author thanks the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

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

For citation: Titova S.V. Comparative evaluation of cows of different lineages according to their productivity and reproductive qualities**.** *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):889–898. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.889-898

Received: 23.04.2024 Accepted for publication: 06.09.2024 Published online: 30.10.2024

В современных условиях молочного скотоводства высокая продуктивность и регулярное воспроизводство животных определяют рентабельность племенных хозяйств. Высокая интенсивность отбора предъявляет повышенные требования к воспроизводительной функции животных [1], которые должны обладать высокой молочной продуктивностью и хорошей воспроизводительной способностью.

В России с 70-х годов прошлого столетия проводилось интенсивное использование голштинских производителей в скрещивании с черно-пестрым скотом. За последние годы на основе поглотительного скрещивания созданы высокопродуктивные популяции высокопородного голштинизированного скота молочного направления. [2]. Однако весьма часто отмечается, что рост продуктивности коров оказывает определённое негативное воздействие на их репродуктивные качества [3]. С повышением молочной продуктивности ухудшаются функции воспроизводства (несвоевременная охота, низкая оплодотворяемость, удлинение сервис- и сухостойного периодов, яловость, аборты, рождение нежизнеспособного молодняка, послеродовые заболевания и т. д.). Как следствие, снижается плодовитость коров, сдерживаются темпы воспроизводства стада, сокращаются возможности строгого отбора среди маточного поголовья в процессе селекции [4, 5, 6, 7].

Основная причина снижения плодовитости заключается в том, что программы разведения и селекции молочных стад сосредоточены на повышении надоев молока и мало внимания уделяется генетическому улучшению плодовитости молочных коров [8].

Плодовитость, с генетической точки зрения, является сложной характеристикой, которая подвержена влиянию многих факторов. Из-за низкой наследуемости ее трудно улучшить генетически [8]. Фактически, доля всех различий в плодовитости, обусловленных генетикой, оценивается менее чем на 5 %. Показатели плодовитости, в основном контролируются негенетическими факторами, такими как уровень кормления животных, технология их содержания, здоровье, болезни, климат и т. д. [9, 10].

В значительной мере эффективность ведения селекционно-племенной работы и воспроизводства стада зависит от использования высокоценных быков [11]. Использование производителей, отобранных без учета репродуктивных признаков и ориентированных главным образом на увеличение производства молока, приводит к снижению воспроизводительной способности коров [12].

Поскольку производители молочной продукции во всем мире все больше заботятся о репродуктивных показателях своего стада, многие страны внедрили генетические оценки признаков, связанных с плодовитостью коров. В Канаде разработана система генетической оценки быков по показателям плодовитости дочерей. В США при оценке быков по качеству потомства в селекционные индексы стали включать показатели воспроизводительной способности их дочерей. И несмотря на то, что плодовитость коров на 95 % контролируется негенетическими факторами, экономическое значение данного признака в сочетании с его отрицательной генетической связью с призна-

ками продуктивности, делает оценку быков по оплодотворяемости дочерей весьма ценной[1].

В настоящее время оценка воспроизводительных качеств коров в зависимости от происхождения имеет большое научное и практическое значение. Есть мнение, что линейная принадлежность коров оказывает влияние на воспроизводительные способности, а именно, возраст первого осеменения и первого отела, сервис-период, межотельный период, индекс плодовитости и коэффициент воспроизводительной способности [13].

Так как фенотипические особенности сельскохозяйственных животных формируются в конкретных условиях кормления и содержания каждого отдельного хозяйства и существенно зависят от генотипических особенностей их родителей, изучение влияния линейной принадлежности на воспроизводительные качества коров с учетом продуктивности в каждой отдельной популяции является актуальным и требует постоянных исследований.

Цель исследований – провести сравнительный анализ молочной продуктивности и воспроизводительной способности коров в зависимости от принадлежности к генеалогической линии в условиях Республики Марий Эл.

Научная новизна – в результате сравнительного анализа хозяйственно полезных признаков и воспроизводительных качеств животных выявлены лучшие линии для дальнейшего использования. Полученные результаты исследований дополнили имеющиеся данные о голштинской породе и позволят селекционерам судить о пользе применения той или иной линии.

Материал и методы. Объектом исследований служили коровы черно-пестрой голштинизированной породы различной линейной принадлежности стада ЗАО ПЗ «Семеновский» Республики Марий Эл. Материалом для исследований использовали информацию первичного зоотехнического и племенного учета (карточки 2-МОЛ), данные информационно-аналитической системы «СЕЛЭКС» – Молочный скот. Была сформирована электронная база данных, включающая показатели молочной продуктивности и воспроизводительной способности 3211 коров, родившихся в период 2009–2016 гг.

Для проведения исследования сформировали три группы коров-первотелок с учетом их линейной принадлежности: первая – коровы линии Вис Бек Айдиал 1013415, вторая – коровы линии Монтвик Чифтейн 95679, третья – коровы линии Рефлекшн Соверинг 0198998. Кровность по улучшающей породе в среднем по выборке составила 86,7 %.

Для оценки показателей молочной продуктивности и воспроизводительной способности коров взяли первую лактацию, так как с селекционной точки зрения оценка быков по качеству потомства по первой лактации является наиболее эффективной. Сравнительный анализ молочной продуктивности проводили по удою, массовой доле жира и белка в молоке, выходу молочного жира и белка за 305 дней лактации, коэффициентам молочности и устойчивости лактации. Коэффициент молочности рассчитывали по формуле:

$$КМ = (У / ЖМ) \times 100,$$

где У – удой за 305 дней лактации,
ЖМ – живая масса.

Воспроизводительную способность коров оценивали по возрасту первого плодотворного осеменения, возрасту первого отела, продолжительности сервис-периода, межотельного периода, коэффициенту воспроизводительной способности, индексу плодовитости (по Й. Дохи), выходу телят.

Выход телят на 100 коров = (365 – сервис-период) / 285 × 100.

Коэффициент воспроизводительной способности рассчитывали по формуле, предложенной Н. М. Крамаренко[2]:

$$КВС = 365 / МОП,$$

где 365 – количество дней в году;
МОП – средний межотельный период, дни.

Коэффициент воспроизводительной способности считается оптимальным при величине 1,0–1,5. Индекс плодовитости (ИП) определяли по формуле, предложенной Й. Дохи[3]:

$$ИП = 100 - (В + 2И),$$

где В – возраст коровы при первом отеле, мес.;
И – средний интервал между отелами, мес.

Исходя из этой формулы, оценка отдельной коровы или всего стада по плодовитости определяется: ИП = 48 и выше плодовитость хорошая, 41–47 – средняя, 40 и менее – низкая.

[1]Genetic Selection for Daughter Fertility. Canadian Dairy Network – Information Articles. 2004. [Электронный ресурс]. URL: https://www.cdn.ca/articles.php (дата обращения: 21.03.2024).
[2]Крамаренко Н. М. Организация воспроизводства стада и племенной работы в условиях промышленной технологии производства молока. М.: Колос, 1974. 209 с.
[3]Дохи Й. Простой метод выражения плодовитости. Вестник Венгерской сельскохозяйственной науки. 1961;(3):27–29.

Статистическая обработка и биометрический анализ полученных данных проведены по общепринятым методикам вариационной статистики, согласно руководству Е. К. Меркурьевой[4] и Н. А. Плохинского[5] с помощью программы MS Excel-2007. Были рассчитаны средние арифметические изучаемых показателей и их статистические ошибки (X±Sx), коэффициенты изменчивости (Cv), линейной корреляции по Пирсону (*r*). Достоверность разницы между средними значениями признаков оценивали по t-критерию Стьюдента. В работе приняты следующие обозначения уровней достоверности: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Результаты и их обсуждение. Сравнительный анализ продуктивных качеств коров показал, что наибольший удой за 305 дней первой лактации отмечали в линии В. Б. Айдиал – 7260 кг молока, что больше по сравнению с удоем коров линии Р. Соверинг на 90 кг (1,2 %) ($p \leq 0,01$), с удоем коров линии М. Чифтейн – на 115 кг, или 1,6 % молока (табл. 1).

Таблица 1 **– Характеристика коров по молочной продуктивности в зависимости от линейной принадлежности за I лактацию /**
Table 1 – **Characteristics of cows in terms of milk productivity, depending on the linear affiliation for the first lactation**

Показатель / Indicator	*В. Б. Айдиал / V. B. Aydial (n = 1839)*		*М. Чифтейн / M. Chieftain (n = 192)*		*Р. Соверинг / R. Sovering (n = 1180)*	
	X±Sx	*Cv, %*	*X±Sx*	*Cv, %*	*X±Sx*	*Cv, %*
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg	7260±21	11,9	7145±65	12,5	7170±26**	12,0
Массовая доля жира, % / Fat mass fraction, %	3,81±0,001	1,3	3,82±0,003**	1,2	3,82±0,002***	1,3
Количество молочного жира, кг / Amount of milk fat, kg	277±0,778	11,8	272±2,47	12,4	274±0,97*	11,9
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	3,16±0,001	1,0	3,16±0,002	0,9	3,17±0,001	1,0
Количество молочного белка, кг / Amount of milk protein, kg	230±0,65	11,8	226±2,06	12,5	227±0,80*	11,8
Живая масса, кг / Live weight, kg	533±0,42	3,3	531±1,23	3,2	531±0,52**	3,4
Коэффициент молочности, кг / Milk ratio, kg	1363±0,04	0,12	1345±0,13***	12,8	1350±0,05***	12,2
Коэффициент устойчивости лактации, % / Lactation stability coefficient, %	93,2±0,34	15,0	90,9±0,96*	14,1	92,6±0,40	14,5

*Достоверно при $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$ /

*Statistically significant $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$

По содержанию жира и белка в молоке различия между группами были несущественными. Так, у коров линии Р. Соверинг массовая доля жира в молоке была выше, чем у животных линии В. Б. Айдиал на 0,01 % и составила 3,82 % ($p \leq 0,001$), а массовая доля белка в молоке была выше, чем у коров линий М. Чифтейн и В. Б. Айдиал на 0,01 % и составила 3,17 %.

Наибольшее количество молочного жира и белка было отмечено в молоке коров линии В. Б. Айдиал – 277 и 230 кг соответственно. По количеству молочного жира животные линии В. Б. Айдиал превосходили представительниц линии М. Чифтейн на 5 кг (1,8 %) и коров линии Р. Соверинг – на 3 кг (1,1 %), по количеству молочного белка – на 4 кг (1,7 %) и 3 кг (1,3 %) соответственно.

Во всех группах наблюдали низкую степень изменчивости признаков молочной продуктивности. Значения коэффициентов изменчивости по удою варьировали от 11,9 до 12,5 %. Вариабельность массовой доли жира составила 1,2-1,3 %, массовой доли белка – 0,9-1,0 %.

[4]Меркурьва Е. К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных. М.: Колос, 1970. 423 с.
[5]Плохинский Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. 255 с.

Низкие показатели изменчивости удоя, при достаточно высоком уровне продуктивности, свидетельствуют о результате проводимой селекции коров, направленной на повышение удоя, консолидации и закреплении данного признака.

Одной из характеристик молочной продуктивности и эффективности использования животных является коэффициент молочности, который показывает количество надоенного от коровы молока за год, приходящееся на 100 кг живой массы. Оптимальная величина коэффициента молочности для коров молочных пород составляет 900–1000 кг [2]. В исследуемой выборке самый высокий коэффициент молочности выявлен у коров линии В. Б. Айдиал – 1363 кг. Несколько ниже этот показатель у представительниц линий М. Чифтейн (-18 кг, $p<0,001$) и Р. Соверинг (-13 кг, $p<0,001$). В целом достаточно высокие значения коэффициентов молочности свидетельствуют о ярко выраженном молочном типе животных.

Характер лактационной деятельности коров оценивали на основе коэффициента устойчивости лактации, который в среднем у представительниц линии В. Б. Айдиал составил 93,2 %, Р. Соверинг – 92,6 %, линии М. Чифтейн – 90,9 %. Это достаточно высокие показатели, присущие для высокопродуктивных коров.

Воспроизводительные качества животных являются показателем, характеризующим состояние жизнеспособности организма, его адаптации к климатическим и кормовым условиям. Интенсивное выращивание телок позволяет раньше выявить потенциал молочной продуктивности при наименьших затратах труда и средств.

Все исследуемое поголовье плодотворно осеменили в возрасте 16,7–17,3 месяца. Более скороспелыми были представительницы линии Р. Соверинг, средний возраст первого осеменения составил 16,7 месяца (501 день), что меньше по сравнению с животными линии М. Чифтейн на 12 дней ($p \geq 0,05$) и В. Б. Айдиал – на 19 дней ($p \leq 0,001$). Соответственно и отелы первотелок в линии Р. Соверинг проходили раньше – в 26,8 месяца (803 дня) с разницей в возрасте первого отела у коров в линиях М. Чифтейн – 14 дней ($p \geq 0,05$) и В. Б. Айдиал – 19 дней ($p \leq 0,001$).

Продолжительность сервис-периода в сравниваемых группах животных превышала технологически целесообразные параметры. Считается, что для ежегодного получения теленка от каждой коровы продолжительность сервис-периода не должна превышать 80–90 дней [14]. Наиболее продолжительный сервис-период отмечен у коров линии В. Б. Айдиал – 136 дней, что выше среднего показателя по группе коров линии Р. Соверинга на 6 дней, или 4,4 %, линии М. Чифтейна – на 7 дней, или 5,1 % (табл. 2).

Таблица 2 – **Характеристика коров по воспроизводительным качествам в зависимости от линейной принадлежности /**
Table 2 – **Characteristics of cows according to reproductive qualities, depending on the linear affiliation**

Показатель / Indicator	*В. Б. Айдиал / V. B. Aydial (n = 1839)*		*М. Чифтейн / M. Chieftain (n = 192)*		*Р. Соверинг / R. Sovering (n = 1180)*	
	X±Sx	*Cv, %*	*X±Sx*	*Cv, %*	*X±Sx*	*Cv, %*
Возраст первого плодотворного осеменения, мес. / Age of the first fruitful insemination, months	17,3±0,07	17,3	17,1±0,23	18,5	16,7±0,09***	18,4
Живая масса при первом плодотворном осеменении, кг / Live weight of the first fruitful insemination, kg	378±0,85	9,6	375±2,90	10,7	384±1,21***	10,8
Возраст первого отела, дни / Age of the first calving, days	27,5±0,08	11,7	27,2±0,24	12,2	26,8±0,09***	11,8
Сервис-период, дни / Service period, days	136±2,0	62,6	129±5,5	58,4	130±2,6	67,2
Межотельный период I-II лактации, дни / Interbody period I-II lactation, days	411±2,1	20,5	408±6,0	19,0	403±2,6	19,9
Выход телят на 100 коров, % / Output of calves per 100 cows, %	80,4±0,71	37,1	82,8±1,93	31,9	82,6±0,92	37,1
Индекс плодовитости / Fertility Index	45,0±0,17	15,1	45,1±0,48	13,8	46,3±0,21***	14,0
Коэффициент воспроизводительной способности / Coefficient of reproductive capacity	0,89±0,004	16,1	0,90±0,202	15,28	0,91±0,005**	16,2

** Достоверно при $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$ / **Statistically significant ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$

Продолжительность межотельного периода при полноценном кормлении высокопродуктивных коров составляет 360–390 дней. Межотельный период менее 360 дней приводит к недополучению молока и связан с преждевременным осеменением коров или с их самозапуском. Увеличение межотельного периода свыше 365 дней приводит к яловости коров, снижению выхода телят, повышению затрат на воспроизводство стада. В наших исследованиях период между 1-2 отелом превышал 390 дней и в большей степени был обусловлен продолжительностью сервис-периода. Наименьший период между отелами отмечен в группе животных линии Р. Соверинг (403 дня). В линии М. Чифтейн длительность межотельного периода была выше на 5 дней (1,2 %), в линии В. Б. Айдиал – на 8 дней (1,9 %).

Одним из основных показателей, характеризующих воспроизводство стада, является выход телят на 100 коров. Наибольшее количество телят на 100 коров получено в линии М. Чифтейн – 82,8 %. Животные группы Р. Соверинг отличались лучшей плодовитостью (ИП – 46,3) и воспроизводительной способностью (КВС – 0,91). В линии В. Б. Айдиала отмечены самые низкие показатели воспроизводства: выход телят на 100 коров – 80,4 %; ИП – 45,0, КВС – 0,89.

В селекционной работе с молочным скотом большое значение имеют корреляционные связи между хозяйственно полезными признаками. В наших исследованиях (табл. 3) во всех рассматриваемых линиях установлена обратная корреляционная зависимость между удоем и массовой долей жира (r = -0,105…-0,122), между удоем и массовой долей молочного белка (r = -0,012…-0,154).

Таблица 3 – **Коэффициенты корреляции между молочной продуктивностью и воспроизводительной способностью коров в разрезе линий /**
Table 3 – **Correlation coefficients between milk productivity and reproductive capacity**

Показатель / Indicator	*В. Б. Айдиал / V. B. Aydial (n = 1839)*	*М. Чифтейн / M. Chieftain (n = 192)*	*Р. Соверинг / R. Sovering (n = 1180)*
	$r \pm S_r$	$r \pm S_r$	$r \pm S_r$
Удой – Массовая доля жира / Milk yield – Mass fraction of fat	-0,105±0,0232***	-0,122±0,0716	-0,115±0,0289***
Удой – Массовая доля белка / Milk yield – Mass fraction of protein	-0,121±0,0232***	-0,012±0,0722	-0,154±0,0288***
Массовая доля жира – Массовая доля белка / Mass fraction of fat – Mass fraction of protein	0,299±0,0223***	0,439±0,0482***	-0,114±0,0289***
Удой – Коэффициент устойчивости лактации / Milk yield – Lactation stability coefficient	0,202±0,0229***	0,085±0,0719	0,258±0,0281***
Удой – Сервис-период / Milk yield – Service period	0,247±0,0226***	0,245±0,0700***	0,247±0,0282***
Удой – Межотельный период / Milk yield – Interbody period	0,237±0,0227***	0,252±0,0698***	0,278±0,0280***
Межотельный период – сервис-период / Interbody period – Service period	0,948±0,0074***	0,972±0,0170***	0,928±0,0108***

*** Достоверно при $p \le 0,001$ / ***Statistically significant $p \le 0.001$

Между массовой долей молочного жира и массовой долей молочного белка в линиях В. Б. Айдиал и М. Чифтейн выявлена средней сопряженности статистически достоверная корреляционная связь (r = +0,299 и r = +0,439). В линии Р. Соверинг корреляция была обратная (r = -0,114).

Независимо от линейной принадлежности показатели воспроизводительной способности коров положительно коррелировали с фенотипическим значением основного селекционного признака – удой за 305 дней первой лактации. Между удоем и продолжительностью сервис-периода, удоем и длительностью межотельного периода коэффициенты корреляции составили +0,237…+0,252 ($p \le 0,001$). Более тесная связь удоя с межотельным периодом выявлена в линии М. Чифтейна r = +0,278 ($p \le 0,001$).

Между сервис-периодом и межотельным периодом в линиях установлена тесная связь (r = +0,928…+0,972). Полученные коэффициенты корреляции свидетельствуют о том, что с повышением удоя увеличивается продолжительность сервис- и межотельного периодов, это указывает на процесс ухудшения воспроизводительных способностей коров.

Экономическая эффективность молочного скотоводства напрямую зависит от темпов воспроизводства поголовья скота и его плодовитости. В настоящее время в связи со значительным повышением удоев и наметившейся тенденцией уменьшения выхода телят особенно актуальным становится вопрос о взаимосвязи молочной продуктивности коров с их плодовитостью. Интенсивное использование животных на молочных комплексах приводит к необоснованной выбраковке коров, для замены которых нужен ремонтный молодняк. Так определяется оценка плодовитости животных, объединяющая возраст первого отела с межотельным периодом [7, 15]. При оценке плодовитости коров селекционеры все чаще используют индекс, предложенный Й. Дохи.

Была рассмотрена оценка коров по индексу плодовитости в разрезе линий (табл. 4, 5, 6).

В линии В. Б. Айдиал оценку «хорошая» плодовитость получили 46,4 % коров, показатель ИП по группе в среднем составил 50,8. Оценку «средняя» плодовитость получили 35,6 % животных (среднее значение ИП по группе 44,8), «низкая» плодовитость зафиксирована у 18 % коров со средним значением ИП по группе 37,2.

В группе коров с «хорошей» плодовитостью по сравнению с группой животных, получивших оценку «средняя», продолжительность сервис-периода была короче на 28,7 дня ($p \leq 0,001$), или на 12,8 %, удой ниже на 244 кг ($p \geq 0,5$), или на 3,4 %, воспроизводительная способность выше на 0,13 ($p \leq 0,001$), или на 12,5 %. По сравнению с группой животных, получивших оценку «низкая» плодовитость, продолжительность сервис-периода сократилась на 128 дней, или на 22,7 %, удой – на 328 кг молока ($p \leq 0,001$), или на 4,6 %, воспроизводительная способность повысилась на 0,31 ($p \leq 0,001$), или на 29,8 %.

Таблица 4 – **Плодовитость коров линии Вис Бек Айдиал 1013415** /
Table 4 – **Fertility of cows of the Vis Bek Ideal line 1013415**

Показатель / Indicator	*Уровень индекса плодовитости (по Й. Дохи) / Fertility index level (according to I. Dokhi)*		
	48 и более / 48 or more	*41–47*	*40 и менее / 40 or less*
n	853	654	332
Индекс плодовитости (Дохи) / Fertility Index (Doha)	50,8±0,09	44,8±0,08***	37,2±0,27***
Коэффициент воспроизводительной способности / Coefficient of reproductive capacity	1,04±0,003	0,91±0,003***	0,73±0,007***
Сервис-период, дни / Service period, days	100,6±2,57	129,3±2,04***	228,5±5,42***
Удой, кг / Milk yield, kg	7109±31,3	7353±31,8	7437±47,6***

*** Достоверно при $p \leq 0,001$ / ***Statistically significant $p \leq 0.001$

В линии М. Чифтейн «хорошей» плодовитостью обладали 42,2 % коров (среднее значение ИП – 51,0), «средней» – 39,1 % животных (среднее значение ИП – 45,2), «низкой» – 18,8 % коров (среднее значение ИП – 36,2).

У коров, получивших оценку по индексу плодовитости «хорошая», по сравнению с животными, отнесенными к категориям «средняя» и «низкая», продолжительность сервис-периода была короче на 40,4–127,6 дня ($p \leq 0,001$), или на 45,7–144,3 %, удой ниже на 262–252 кг ($p \geq 0,5$), или на 3,7-3,6 %, воспроизводительная способность выше на 0,13–0,28 ($p \leq 0,001$), или на 12,5–26,9 %.

В линии Р. Соверинг оценку плодовитости «хорошая» получили 56,9 % особей (среднее значение ИП по группе – 51,2), оценку «средняя» плодовитость – 28,6 % коров (среднее значение ИП – 44,9), оценку «низкая» плодовитость – 14,5 % животных (среднее значение ИП – 35,7).

У коров с «хорошей» плодовитостью по сравнению с группой животных, получивших оценку «средняя» и «низкая», продолжитель-

ность сервис-периода была короче на 36,9 и 126,9 дня ($p \leq 0,001$), или на 37,2 и 128,0 %, удой ниже на 415 кг ($p \geq 0,5$) и 416 кг ($p \leq 0,001$), или на 5,9 %, воспроизводительная способность выше на 0,14 и 0,31 ($p \leq 0,001$), или на 13,5 и 29,8 % соответственно.

Таблица 5 – **Плодовитость коров линии Монтвик Чифтейн 95679 /**
Table 5 – **Fertility of cows of the Montwick Chieftain line 95679**

Показатель / Indicator	*Уровень индекса плодовитости (по Й. Дохи) / Fertility index level (according to I. Dokhi)*		
	48 и более / 48 or more	*41–47*	*40 и менее / 40 or less*
n	81	75	36
Индекс плодовитости (Дохи) / Fertility Index (Doha)	51,0±0,33	45,2±0,21***	36,2±0,90***
Коэффициент воспроизводительной способности / Coefficient of reproductive capacit	1,04±0,011	0,91±0,010***	0,76±0,023***
Сервис-период, дни / Service period, days	88,4±4,15	128,8±5,21***	216,0±18,02***
Удой, кг / Milk yield, kg	6992±112,2	7254±96,7	7244±129,4

***Достоверно при $p \leq 0,001$ / ***Statistically significant at $p \leq 0.001$

Таблица 6 – **Плодовитость коров линии Рефлекшн Соверинг 198998** /
Table 6 – **Fertility of cows of the Reflection Sovering line 198998**

Показатель / Indicator	*Уровень индекса плодовитости (по Й. Дохи) / Fertility index level (according to I. Dokhi)*		
	48 и более / 48 or more	*41–47*	*40 и менее / 40 or less*
n	671	338	171
Индекс плодовитости (Дохи) / Fertility Index (Doha)	51,2±0,10	44,9±0,10***	35,7±0,37***
Коэффициент воспроизводительной способности / Coefficient of reproductive capacity	1,04±0,004	0,90±0,005***	0,73±0,010***
Сервис-период, дни / Service period, days	99,1±3,31	136,0±2,40***	226,0±7,50***
Удой, кг / Milk yield, kg	6984±32,9	7398±45,8	7399 ±66,8***

***Достоверно при $p \leq 0,001$ / ***Statistically significant at $p \leq 0.001$

При сравнении линий между собой можно отметить, что линия Р. Соверинг отличалась наибольшим количеством коров с «хорошей» плодовитостью. В линиях В. Б. Айдиал и М. Чифтейн таких животных меньше на 10,5 и 14,7 % соответственно. Принадлежность животных по индексу плодовитости к категории «хорошая» свидетельствует об улучшении воспроизводительных способностей коров.

В таблице 7 представлена корреляционная связь воспроизводительной способности коров с удоем.

Таблица 7 – **Коэффициенты корреляции между удоем и плодовитостью коров в разрезе линий /**
Table 7 – **Correlation coefficients between milk yield and fertility of cows**

Показатель / Indicator	*В. Б. Айдиал / V. B. Aydial*	*М. Чифтейн / M. Chieftain*	*Р. Соверинг / R. Sovering*
Удой – Коэффициент воспроизводительной способности / Milk yield – Coefficient of reproductive capacity	-0,277±0,0280***	-0,296±0,0280***	-0,325±0,0275***
Удой – Индекс плодовитости (Дохи) / Milk yield – Fertility index (Doha)	-0,196 ±0,0285***	-0,134±0,0285***	-0,202±0,0285***
Коэффициент воспроизводительной способности – Индекс плодовитости (Дохи) / Coefficient of reproductive ability – Fertility Index (Doha)	+0,854±0,0151***	+0,828±0,1278***	+0,845±0,0156***

***Достоверно при $p \leq 0,001$ / ***Statistically significant at $p \leq 0.001$

Коэффициенты фенотипической корреляции между удоем и индексом плодовитости в группах (линиях) животных были близки по своим значениям и направленности. Это позволяет судить об общей закономерности проявления признаков воспроизводительной способности.

Наличие низких отрицательных коэффициентов корреляции между удоем и индексом плодовитости свидетельствует о снижении плодовитости при увеличении удоя. Поэтому для повышения эффективности селекции, в оценку быков по качеству потомства, наряду с продуктивными признаками, необходимо включать и признаки воспроизводительной способности дочерей.

Заключение. На основании полученных данных, можно сделать заключение, что между группами коров разных линий по уровню развития признаков молочной продуктивности существенных различий не наблюдалось. Сказалась целенаправленная селекция коров на повышение удоя. Животные всех трех линий обладали молочным типом и характеризовались устойчивой лактацией.

По воспроизводительным качествам лучшими выделены коровы линии Р. Соверинг. Животные характеризовались более ранними отелами (26,8 мес.), коротким сервис-периодом (130 дней) и межотельным периодом (403 дня), наибольшим показателем выхода телят на 100 коров (82,6 %), высокими индексом плодовитости (46,3) и коэффициентом воспроизводительной способности (0,91).

По результатам оценки плодовитости (по Й. Дохи) установлено, что в целом по выборке у коров с «хорошей» плодовитостью (ИП – 48 и более) удой получили ниже на 3,4–5,9%, сервис-период короче на 12,8–128,0 %, воспроизводительная способность выше на 12,5–29,8 % по сравнению с животными с оценкой плодовитости «средняя» (ИП – 41–47) и «низкая» (ИП – 40 и менее). В линии Р. Соверинг более половины коров (56,9 %) имели оценку «хорошая» плодовитость, в линиях В. Б. Айдиал и М. Чифтейн таких животных было меньше на 10,5 и 14,7 % соответственно.

Для уменьшения негативной тенденции снижения плодовитости коров необходимо в оценку включать показатель индекса плодовитости.

Список литературы

1. Сакса Е. И., Барсукова О. Е. Влияние уровня молочной продуктивности на плодовитость коров. Зоотехния. 2007;(11):23–26. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=11743769 EDN: JWZSKF

2. Волгин В. И., Романенко Л. В., Прохоренко П. Н., Федорова З. Л., Корочкина Е. А. Полноценное кормление молочного скота – основа реализации генетического потенциала продуктивности. М.: РАН, 2018. 260 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=35379443 EDN: XVJNQL

3. Ключникова Н. Ф., Ключников М. Т. Некоторые аспекты жизнеспособности коров в условиях Приамурья. Вестник российской сельскохозяйственной науки**.** 2023;(5):90–93.
DOI: https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/5/90-93 EDN: XGKUVR

4. Гибадуллина Ф. С., Шакиров Ш. К. Причины низкого воспроизводства коров и пути их устранения. Ветеринарный врач. 2006;(2):45–47. Режим доступа: https://elibrary.ru/jxcrax EDN: JXCRAX

5. Давыдова А. С., Федосенко Е. Г. Воспроизводительные качества коров ярославской породы. Вестник АПК Верхневолжья. 2022;(1(57)):37–41. DOI: https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.57.1.006 EDN: EFOUCF

6. Фирсова Э. В., Карташова А. П., Митюков А. С. Взаимосвязь воспроизводительных способностей и молочной продуктивности коров. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017;(48):53–58. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=30383539 EDN: XAKGOW

7. Плавинский С. Ю., Гогулов В. А. Характеристика хозяйственно-полезных признаков дочерей быков разных линий на примере АО "Луч" Ивановского района Амурской области. Дальневосточный аграрный вестник. 2018;(2(46)):67–71. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=35727070 EDN: MASWUH

8. Muller C. J. C., Cloete S. W. P., Botha J. A. Fertility in dairy cows and ways to improve it. South African Journal of Animal Science. 2018;(48(5)):859–868. DOI: http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v48i5.6

9. Ревина Г. Б. Репродуктивные особенности коров сахалинской популяции в зависимости от продуктивных и наследственных факторов. Международный научно-исследовательский журнал. 2020;(12-1(102)):167–172.
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.028 EDN: NPTTJF

10. Беленькая А. Е. Селекционно-генетические показатели линий голштинского скота в условиях Северного Зауралья. Молодой ученый. 2016;(6-5(110)):56–58. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=25976101 EDN: VWLHWB

11. Абрамова Н. И., Хромова О. Л., Селимян М. О. Влияние быков на показатели воспроизводства дочерей с учетом их продуктивности. Молочнохозяйственный вестник. 2020;(3(39)):22–31.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=44109369 EDN: YIQYTQ

12. Rodriguez-Martinez H., Hultgren J., Båge R., Bergqvist A.-S., Svensson C., Bergsten C., Lidfors L., Gunnarsson S., Algers B., Emanuelson U., Berglund B., Andersson G., Håård M., Lindhé B., Stålhammar H., Gustafsson H. e outros. Reproductive Performance in High-producing Dairy Cows: Can We Sustain it Under Current Practice? Reviews in Veterinary Medicine. 2008. URL: https://www.ivis.org/library/reviews-veterinary-medicine/reproductive-performance-high-producing-dairy-cows-can-we#read

13. Шишкина Т. В., Гусева Т. А., Латыпова Э. А. Оценка воспроизводительных качеств коров в зависимости от происхождения. Нива Поволжья. 2021;(1(58)):82–88. DOI: https://doi.org/10.36461/NP.2021.58.1.013 EDN: DLZONV

14. Лапина М. Н., Бобрышова Г. Т., Ковалева Г. П., Сулыга Н. В., Витол В. А. Взаимосвязь продуктивного долголетия и воспроизводительных способностей у коров черно-пестрой породы. Сельскохозяйственный журнал. 2019;(1(12)):56–63. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=41282314 EDN: JNABPX

15. Вельматов А. А., Дунин И. М., Тишкина Т. Н. Особенности воспроизводства у коров в условиях промышленной технологии производства молока. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(2(54)):207–213. DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-2-207-213 EDN: PFFIZJ

References

1. Saksa E. I., Barsukova O. E. Effect of milk productivity on fertility of cows. *Zootekhniya*. 2007;(11):23–26. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=11743769

2. Volgin V. I., Romanenko L. V., Prokhorenko P. N., Fedorova Z. L., Korochkina E. A. Full feeding dairy cattle is the basis of realization of the genetic productivity potential. Moscow: *RAN*, 2018. 260 p. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=35379443

3. Klyuchnikova N. F., Klyuchnikov M. T. Several aspects of the cows viability in the Amur region. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2023;(5):90–93. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/5/90-93

4. Gibadullina F. S., Shakirov Sh. K. The causes of low cow reproduction and ways to eliminate them. *Veterinarnyy vrach*. 2006;(2):45–47. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/jxcrax

5. Davydova A. S., Fedosenko E. G. Reproductive qualities of cows of the yaroslavl breed. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2022;(1(57)):37–41. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.57.1.006

6. Firsova E. V., Kartashova A. P., Mityukov A. S. The relationship between reproductive abilities and dairy productivity of cows. Izvestiya *Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2017;(48):53–58. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=30383539

7. Plavinskiy S. Yu., Gogulov V. A. Characteristic of economic-useful signs of daughters of bullsof different lines by the example of JSC Luch of Ivanovsky district, Amur region. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2018;(2(46)):67–71. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=35727070

8. Muller C. J. C., Cloete S. W. P., Botha J. A. Fertility in dairy cows and ways to improve it. South African Journal of Animal Science. 2018;(48(5)):859–868. DOI: http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v48i5.6

9. Revina G. B. Reproductive characteristics of cows of the sakhalin population based on the productive and hereditary factors. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal. 2020;(12-1(102)):167–172. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.028

10. Belen'kaya A. E. Breeding and genetic indicators of Holstein cattle lines in the conditions of the Northern Trans-Urals. *Molodoy uchenyy* = Young Scientist. 2016;(6-5(110)):56–58. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25976101

11. Abramova N. I., Khromova O. L., Selimyan M. O. Influence of bulls on the reproduction indicators of daughters taking into account their productivity. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2020;(3(39)):22–31. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=44109369

12. Rodriguez-Martinez H., Hultgren J., Båge R., Bergqvist A.-S., Svensson C., Bergsten C., Lidfors L., Gunnarsson S., Algers B., Emanuelson U., Berglund B., Andersson G., Håård M., Lindhé B., Stålhammar H., Gustafsson H. e outros. Reproductive Performance in High-producing Dairy Cows: Can We Sustain it Under Current Practice? Reviews in Veterinary Medicine. 2008. URL: https://www.ivis.org/library/reviews-veterinary-medicine/reproductive-performance-high-producing-dairy-cows-can-we#read

13. Shishkina T. V., Guseva T. A., Latypova E. A. Assessment of reproductive qualities of cows depending on origin. *Niva Povolzh'ya* = Volga Region Farmland. 2021;(1(58)):82–88. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36461/NP.2021.58.1.013

14. Lapina M. N., Bobryshova G. T., Kovaleva G. P., Sulyga N. V., Vitol V. A. The relationship of productive longevity and reproductive abilities in cows of black-and-white breed. *Sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*. 2019;(1(12)):56–63. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41282314

15. Velmatov A. A., Dunin I. M., Tishkina T. N. Cow reproduction features under the conditions of industrial technology of milk production. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2021;(2(54)):207–213. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-2-207-213

Сведения об авторах

Титова Светлана Викторовна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Победы, д. 10, п. Руэм, Медведевский район, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 425231, e-mail: marniish@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8651-9545**

Information about the authors

Svetlana V. Titova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Mari Agricultural Research Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Pobedy St., 10, Medvedevsky district, Ruem, Mari El Republic, Russian Federation, 425231, e-mail: marniish@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8651-9545**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.899–905
УДК 636.082

Содержание внДНК в семенной плазме петухов как потенциальный биомаркер жизнеспособности сперматозоидов

© 2024. А. А. Курочкин✉, Т. И. Кузьмина, А. О. Притужалова
Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Поиск биомаркеров, имеющих ранний прогностический признак и определяющих функциональный статус мужских гамет Gallus Gallus, является перспективным направлением повышения качественных показателей эякулятов и их репродуктивных характеристик. В условиях снижения репродуктивных показателей по причине селекции племенной птицы, направленной на улучшение хозяйственно полезных признаков, данный подход к отбору самцов по качеству их спермопродукции позволит вести оценку спермы в короткие сроки и выявлять потенциально лучших производителей на ранних этапах. В исследовании рассматривается возможность использования внДНК как потенциального неинвазивного биомаркера, определяющего качественные показатели нативной спермы петухов. Выявлены достоверные корреляционные связи между содержанием внДНК и долей клеток с поврежденной плазматической мембраной (r = 0,35, p<0,05), что свидетельствует о возможной связи данного биомаркера с некротическими и апоптотическими процессами в клетках. Коэффициент вариации показателя внДНК составил 30,28 %, что предполагает возможность использования предложенного биомаркера (концентрация внДНК в семенной жидкости Gallus Gallus) в качестве предиктивного прогностического критерия оценки качества мужских гамет. Установлены достоверные корреляционные связи (r = 0,51, p<0,05) между долей клеток, подверженных оксидативному стрессу, долей клеток с поврежденной плазматической мембраной и высокой митохондриальной активностью, что свидетельствует о негативном влиянии активных форм кислорода на целостность плазматической мембраны и взаимосвязь повышенной генерации активных форм кислорода с функционированием митохондрий. Основываясь на анализе полученных в исследовании результатов, показатель «содержание внДНК в семенной жидкости» предлагаем рассматривать как превентивный неинвазивный биомаркер функционального состояния мужской гаметы Gallus Gallus.

Ключевые слова: *Gallus gallus domesticus, митохондрии, активные формы кислорода, апоптоз, гаметы*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (тема НИОКТР 124020200127-7).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Курочкин А. А., Кузьмина Т. И., Притужалова А. О. Содержание внДНК в семенной плазме петухов как потенциальный биомаркер жизнеспособности сперматозоидов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):899–905. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.899-905

Поступила: 04.06.2024 Принята к публикации: 26.09.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Content of exDNA in rooster's seminal plasma as a potential biomarker of sperm viability

© 2024. Anton A. Kurochkin✉, Tatyana I. Kuzmina, Anna O. Prituzhalova
All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Saint Petersburg, Russian Federation

Searching biomarkers, that have an early prognostic trait and determinate functional status of male gametes Gallus Gallus is a promising direction for improving ejaculate's quality reproductive characteristics. In context of a decreasing reproductive performance due to breeding selection of birds aimed to improving economically useful traits, this approach to selecting males, based on their sperm quality production will make it possible to evaluate sperm in a short time and identify potentially the best producers at early stages. The study determined possibility of using exDNA as a potential biomarker that determines quality indicators of native sperm obtained from roosters. Significant correlations were revealed between exDNA and proportion of cells with damaged plasma membrane (r = 0.35, p<0.05), which indicates a possible connection of this biomarker with necrotic and apoptotic processes occurring in cells. Variation coefficient of exDNA indicator was 30.28 %, demonstrating the possibility of using the proposed biomarker (exDNA concentration in the seminal fluid of Gallus Gallus) as a predictive criterion for assessing quality of male gametes. Significant correlations (r = 0.51, p<0.05) were established between proportion of cells exposed to oxidative stress, proportion of cells with damaged plasma membrane and high mitochondrial activity, which indicates negative impact of reactive oxygen species on the plasma membrane integrity and relation-

ship increased generation of reactive oxygen species with functional status of mitochondria. On the basis of the analysis of research results, the indicator "exDNA content in seminal fluid" should be considered as a preventive non-invasive biomarker of the functional state of male gamete Gallus Gallus.

Keywords: *Gallus Gallus domesticus, mitochondria, reactive oxygen species, apoptosis, gametes*

Acknowledgments: the research 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 НИОКТР 124020200127-7).

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

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

For citation: Kurochkin A. A., Kuzmina T. I., Prituzhalova A. O. Content of exDNA in rooster's seminal plasma as a potential biomarker of sperm viability. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):899–905. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.899-905

Received: 04.06.2024 Accepted for publication: 26.09.2024 Published online: 30.10.2024

В современной птицеводческой отрасли искусственное осеменение наряду с клеточным содержанием птицы нашло широкое применение и составляет единый технологический процесс, позволяющий достигнуть более высокой репродуктивной эффективности самцов, повысить качество селекционной работы путем контроля за происхождением птицы, снизить затраты на содержание поголовья за счет изменения полового соотношения в популяции и более эффективного использования промышленных площадей. Основная цель искусственного осеменения увеличить популяцию за счет эффективного производства большого количества суточных цыплят в относительно короткие сроки [1]. Однако генетическая селекция племенной птицы, ориентированная в первую очередь на улучшение хозяйственно значимых признаков при пониженном коэффициенте конверсии корма, приводит к снижению репродуктивных показателей. Учитывая тот факт, что поголовье самцов в разы меньше поголовья самок в популяции промышленной птицы, влияние их репродуктивных качеств значительно выше [2].

Поиск биомаркеров, имеющих ранний прогностический признак и определяющих функциональный статус мужских гамет *Gallus Gallus*, является перспективным направлением повышения качественных показателей эякулятов и их репродуктивных характеристик. Данный подход к отбору самцов по качеству их спермопродукции позволит вести оценку спермы в короткие сроки и выявлять потенциально лучших производителей на ранних этапах.

В качестве индикаторов фертильности спермы петухов могут использоваться такие клеточные показатели, как фрагментация хроматина, митохондриальная активность, целостность плазматических мембран клеток, содержание внутриклеточных ионов кальция (Ca^{2+}) и активных форм кислорода (АФК). Негативное влияние окислительного стресса на сперматозоиды петухов может являться одним из основных факторов, вызывающих структурные изменения в клетках. Данные соединения затрагивают ряд важных для сперматозоида органелл. Содержание свободных радикалов и перекисей в количествах, превышающих антиоксидантную емкость клеток, способно индуцировать повреждение белков, перекисное окисление липидов плазматических мембран, митохондриальную дисфункцию и повреждение целостности структуры молекул ДНК [3, 4]

Однако оценка данных показателей может быть осложнена проведением в лабораторных условиях с использованием дорогостоящего оборудования. С другой стороны, изучение составляющих семенной плазмы может косвенно указать на функциональный статус клеток, поскольку она модулирует функцию сперматозоидов в процессе воспроизводства [5].

Химический и биохимический состав семенной плазмы птиц был предметом ряда исследований. Полученные данные определили взаимосвязь между различными составляющими семенной плазмы, такими как содержание электролитов (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Cl^-), аминокислот и белков, липидов и фосфолипидов и их взаимосвязи с клеточными показателями спермы. Недавно в семенной плазме человека были идентифицированы бесклеточные нуклеиновые кислоты – ДНК, длинные одноцепочечные РНК и малые РНК – микроРНК и пиРНК [6, 7, 8]. Определение концентрации внеклеточной ДНК (внДНК) может быть использовано в качестве неинвазивного метода определения качественных показателей спермы.

Различия в размере обнаруженной внДНК, ее эпигенетике, полиморфизме приводят к различным отклонениям в фертильности спермы мужчин [9]. В их числе: взаимосвязь между

содержанием внДНК и оксидативным стрессом [10]; корреляция между содержанием низкомолекулярной внДНК и прогрессивной подвижностью, отклонения в прохождении этапов процесса капацитации спермы [11]. Данный биомаркер (внДНК) также используется в исследованиях женской фертильности. Профилирование внДНК, выделенной из фолликулярной жидкости, используется в качестве неинвазивного и простого метода определения клинического исхода беременности. внДНК представляет собой фрагменты ДНК (из ядер клеток и митохондрий), высвобождаемая посредством апоптоза, некроза и других механизмов активного высвобождения [12]. Исследования, описывающие взаимосвязь между отклонениями в митохондриальной активности клеток и содержанием внДНК, на данный момент как в гуманитарной медицине, так и в животноводстве отсутствуют.

Тем не менее, при наличии ряда исследований внДНК в связи с мужской фертильностью у человека, работы в данном направлении у сельскохозяйственных животных и птиц немногочисленны и носят фрагментарный характер. В нашем исследовании мы определили возможность использования внДНК как потенциального биомаркера, определяющего качественные показатели нативной спермы петухов.

Цель исследований – оценить перспективы использования нового биомаркера (внДНК) в качестве прогностического признака качественных показателей эякулятов петухов-производителей.

Научная новизна – впервые оценено содержание внеклеточной ДНК в семенной плазме петухов в связи с показателями жизнеспособности мужских гамет, морфофункциональной активностью, генерацией внутриклеточных АФК и функциональным статусом митохондрий.

Материал и методы. Исследование проводили на базе ЦКП «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур» Всероссийского НИИ генетики и разведения сельскохозяйственных животных. Объектом исследования служили петухи породы Царскосельская (n = 20) в возрасте 36 недель. Петухи содержались в индивидуальных клетках. Кормление, поение и световой режим экспериментальное поголовье получало в соответствии с возрастными нормами.

Сперму собирали методом абдоминального массажа (Берроуз и Куинн (Burrows and Quinn, 1935), в пенициллиновые флаконы, дважды в неделю. Общую подвижность оценивали на микроскопе Axio Imager A1 (Carl Zeiss Microscopy, Germany), увел. 100х. Концентрацию внеклеточной ДНК в семенной плазме нативных эякулятов определяли наборами QuDye dsDNA HS Kit (Lumiprobe, Россия) с помощью флуориметра Qubit 4 (Thermo Scientific, США).

Оценка таких клеточных показателей, как целостность плазматической мембраны, митохондриальный потенциал и генерация клетками перекиси водорода (H_2O_2) в образцах индивидуальных эякулятах петухов проходила с использованием флуоресцентных красителей. Флуоресценцию клеток анализировали на проточном цитометре CytoFLEX (Beckman Coulter Life Sciences, США). В каждом образце оценивали не менее 10000 событий. Для анализа данных использовали программное обеспечение CytExpert, Version 2.4.0.28 (Beckman Coulter, Inc.).

Содержание внутриклеточного H_2O_2 в клетках определяли с помощью 2',7'-дихлорфлуоресцеин диацетат (DCFH-DA), для этого клетки дважды отмывали PBS (1200 об./мин, 7 мин) и добавляли в конечной концентрации 5 мкМ/мл с последующей инкубацией в течение 20 мин. Затем осадок дважды отмывали от остатков флуорохрома (1200 об./мин., 7 мин). При анализе флуоресценции на проточном цитометре выделяли две популяции клеток – с высоким и низким содержанием пероксида водорода. Определение доли мертвых клеток проводили с помощью флуорохрома пропидия йодид (PI) и флуорохрома DAPI. Клетки анализировали сразу после добавления красителей к исследуемым образцам до конечной концентрации 5 мкг/мл. Активность митохондрий сперматозоидов петухов оценивали с помощью флуоресцентного красителя – перхлората этилового эфира тетраметилродамина (TMRE). Образцы клеток дважды отмывали в PBS с последующим центрифугированием 1200 об./мин. в течение 7 мин. Осадок клеток ресуспендировали в PBS и инкубировали с TMRE в конечной концентрации 1 мкМ в течение 30 мин при t = 38,5 °C. После инкубации клетки отмывали от остатков флуорохрома.

Результаты и их обсуждение. При оценке нативных эякулятов петухов породы Царскосельская, общая подвижность находилась в пределах от 83,33 до 90,0 % (табл. 1).

Установлена достоверная корреляция между долей клеток с высокой митохондриальной активностью и общей подвижностью клеток (r = 0,48, p<0,05), что подтверждается исследованиями, детерминирующими взаимосвязь функционирования митохондрий, содержания в клетках АТФ и кинетическим аппаратом сперматозоидов [13].

Таблица 1 – **Жизнеспособность сперматозоидов и качественные показатели нативных эякулятов петухов /**
Table 1 – **Sperm viability and quality indicators of rooster's native ejaculates**

№ Петуха / Rooster's Number	*внДНК, нг/мл / exDNA, ng/ml*	*Объем эякулята, мл / Ejaculate volume, ml*	*Общая подвижность, % / General mobility, %*	*PI+*, %*
1	2,68±0,12	0,77±0,09	85,00±0	24,40±3,56
2	2,58±0,92	0,90±0,12	88,33±1,67	15,93±5,94
3	2,34±0,30	0,97±0,18	85,00±0	37,56±20,02
4	1,41±0,14	0,53±0,09	85,00±0	23,73±4,26
5	1,53±0,11	0,77±0,03	85,00±0	17,94±3,17
6	1,86±0,24	1,10±0,25	86,67±1,67	28,57±16,70
7	2,44±0,44	0,63±0,09	83,33±1,67	32,94±11,70
8	1,37±0,08	0,93±0,09	90,00±0	25,14±2,98
9	1,29±0,07	0,70±0,06	85,00±0	22,93±6,36
10	1,35±0,12	1,43±0,09	90,00±0	28,47±17,19
11	1,14±0,03	1,03±0,15	83,33±2,50	23,58±6,63
12	1,06±0,09	0,33±0,15	83,33±2,50	17,86±3,13
13	2,18±0,50	0,53±0,05	85,00±0	19,80±4,69
14	2,20±0,04	1,07±0,20	86,67±2,50	20,20±1,27
15	2,40±0,75	1,00±0,05	85,00±0	23,59±2,94
16	1,66±,011	0,63±0,10	85,00±0	24,34±7,25
17	1,63±0,06	0,60±0,15	85,00±0	14,90±2,47
18	1,59±0,35	1,07±0,20	85,00±2,50	24,32±3,33
19	1,68±0,16	0,97±0,15	85,00±2,50	26,29±2,60
20	0,94±0,04	0,80±0	85,00±0	18,62±4,64

Примечания: данные представлены в виде средних величин, ± ст. ошибка. «PI+» – доля клеток с поврежденной плазматической мембраной /

Notes: data are presented as mean values, ± standard error. "PI+" – proportion of cells with damaged plasma membrane

Также, установлены достоверные корреляционные связи (r = 0,51, p<0,05) между долей клеток, подверженных оксидативному стрессу, долей клеток с поврежденной плазматической мембраной и высокой митохондриальной активностью, что говорит о негативном влиянии активных форм кислорода (АФК) на целостность плазматической мембраны и взаимосвязь повышенной генерации АФК с функционированием митохондрий. Данный факт может также объясняться тем, что увеличение функции митохондрий и потока электронов в цепи их переноса приводит к увеличению пассивной утечки электронов, выработке АФК и окислительному стрессу, сопровождающему повышению активности митохондрий [14].

Бóльшая часть работ, посвященная определению возможности использования содержания внДНК в семенной плазме как предиктивного и неинвазивого биомаркера, определяющего как качественные показатели, так и нарушения сперматогенеза опубликованы в гуманитарной медицине. В исследованиях авторов Чоу и др. (Chou et al.) на сперме человека внДНК была связана с качественными показателями спермы, такими как скорость движения клеток и их морфология [15]. Авторами Х. Г. Ли и др. (H. G. Li et al.) было показано, что уровень внДНК выше в семенной

плазме пациентов с азооспермией, чем у пациентов с нормозооспермией [16]. В области воспроизводства сельскохозяйственных животных подобные исследования немногочисленны, что же касается птиц, то подобные исследования пока не проводились.

При исследовании 20 индивидуальных эякулятов спермы петухов мы определили содержание внеклеточной ДНК. Оно существенно отличалось между образцами и находилось в пределах от 0,94 до 2,68 нг/мл (табл. 1), но наблюдалась высокая повторяемость результатов, характеризующаяся небольшим доверительным интервалом (табл. 2). Достоверной корреляционной связи данного показателя с объемом эякулятов обнаружено не было, поэтому можно сказать, что данный показатель не зависит от количества клеток в эякуляте.

Таблица 2 – **Митохондриальная активность и генерация клетками внутриклеточных активных форм кислорода (H_2O_2), % /**
Table 2 – **Mitochondrial activity and cell generation of intracellular reactive oxygen species (H_2O_2), %**

№ Петуха / Rooster's Number	*TMRE+**	*TMRE+/DAPI+**	*PI-/ROS+**
1	75,38±8,09	11,61±1,29	17,39±2,61
2	79,06±8,98	12,89±0,44	14,14±9,16
3	67,83±4,07	7,62±1,66	9,58±4,62
4	70,94±3,23	14,04±2,06	16,40±1,96
5	79,56±10,29	12,74±0,74	8,28±2,68
6	79,71±4,89	9,29±1,51	11,29±2,27
7	79,45±0,98	8,92±0,53	13,31±4,05
8	77,08±4,11	12,90±2,67	18,36±6,65
9	78,47±0,16	20,41±1,53	17,46±3,01
10	85,05±1,78	25,78±3,78	16,93±4,60
11	68,80±2,02	6,25±1,01	17,95±2,94
12	71,46±4,70	5,74±1,28	20,90±9,45
13	74,74±4,00	6,7±0,59	11,44±2,89
14	73,23±2,58	4,56±0,95	24,11±12,35
15	77,59±3,12	6,96±1,12	15,77±4,36
16	74,95±2,54	3,7±0,59	10,86±1,82
17	79,52±5,34	2,76±0,90	13,61±5,36
18	70,70±4,74	6,92±1,23	15,77±5,39
19	68,00±1,78	3,44±0,51	17,17±6,74
20	78,71±4,30	6,57±1,03	7,61±3,39

Примечания: Данные представлены в виде средних величин, ± ст. ошибка. *«TMRE+» – доля клеток с высокой митохондриальной активностью, «TMRE+/DAPI+» – высокая митохондриальная активность в клетках с поврежденной плазматической мембраной, «PI-/ROS+» – генерация внутриклеточных активных форм кислорода (H_2O_2) клетками с интактной плазматической мембраной /

Notes: Data are presented as mean values, ± standard error. *"TMRE+" – proportion of cells with high mitochondrial activity, "TMRE+/DAPI+" – high mitochondrial activity in cells with damaged plasma membrane, "PI-/ROS+" – generation of intracellular reactive oxygen species (H2O2) by cells with intact plasma membrane

В нашем исследовании выявлены достоверные корреляционные связи между внДНК и долей клеток с поврежденной плазматической мембраной (r = 0,35, $p<0,05$), что свидетельствует о возможной связи данного биомаркера с некротическими и апоптотическими процессами, происходящими в сперматозоидах птиц. Учитывая коэффициент вариации данного показателя (30,28 %), можно предположить о перспективности анализа содержания внДНК в семенной плазме петухов как потенциального биомаркера оценки качества эякулятов.

Заключение. Выявлены достоверные корреляционные связи между внДНК и долей клеток с поврежденной плазматической мембраной (r = 0,35, p<0,05), что свидетельствует о возможной связи данного биомаркера с некротическими и апоптотическими процессами, происходящими в клетках. Коэффициент вариации показателя внДНК составил 30,28 %, показывая возможность использования предлагаемого биомаркера (концентрация внДНК в семенной жидкости *Gallus Gallus*) в качестве предиктивного прогностического критерия оценки качества мужских гамет.

Установлены достоверные корреляционные связи (r = 0,51, p<0,05) между долей клеток, подверженных оксидативному стрессу, долей клеток с поврежденной плазматической мембраной и высокой митохондриальной активностью, что говорит о негативном влиянии активных форм кислорода на целостность плазматической мембраны и взаимосвязь повышенной генерации АФК с функционированием митохондрий.

Установлена достоверная корреляция между долей клеток с высокой митохондриальной активностью и общей подвижностью клеток (r = 0,48, p<0,05), что свидетельствует о взаимосвязи функциональной активности митохондрий, содержания в клетках АТФ и функционирования кинетического аппарата сперматозоидов. Полученные данные позволяют рассматривать содержание внДНК в семенной жидкости петухов как превентивный неинвазивный биомаркер качества сперматозоидов *Gallus Gallus*.

References

1. Udrayana S. B., Kasianto K., Iswati I., Bintari I. G. Evaluating sperm quality characteristics obtained through the female teaser method in native chicken breeds. Livestock and Animal Research. 2023;21(3):127–135. DOI: https://doi.org/10.20961/lar.v21i3.66495

2. Wolc A., Arango J., Settar P., Fulton J. E., O'Sullivan N. P., Dekkers J. C. M. Genetics of male reproductive performance in White Leghorns. Poultry Science. 2019;98(7):2729–2733. DOI: https://doi.org/10.3382/ps/pez077

3. Surai P. F., Kutz E., Wishart G. J., Noble R. C., Speake B. K. The relationship between the dietary provision of alpha-tocopherol and the concentration of this vitamin in the semen of chicken: effects on lipid composition and susceptibility to peroxidation. Journal of reproduction and fertility. 1997;110(1):47–51. DOI: https://doi.org/10.1530/jrf.0.1100047

4. Khan R. Antioxidant and poultry semen quality. World's Poultry Science Journal. 2011;67(2):297–308. DOI: https://doi.org/10.1017/S0043933911000316

5. Santiago-Moreno J., Bernal B., Pérez-Cerezales S., Castaño C., Toledano-Díaz A., Esteso M. C., et al. Seminal plasma amino acid profile in different breeds of chicken: Role of seminal plasma on sperm cryoresistance. Plos one. 2019;14(1):e0209910. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209910

6. Zagoskin M. V., Davis R. E., Mukha D. V. Double Stranded RNA in Human Seminal Plasma. Frontiers in genetics. 2017;8:00154. DOI: https://doi.org/10.3389/fgene.2017.00154

7. Li H., Huang S. Y., Zhou H., Liao A. H., Xiong C. L. Quick recovery and characterization of cell-free DNA in seminal plasma of normozoospermia and azoospermia: implications for non-invasive genetic utilities. Asian journal of andrology. 2009;11(6):703–709. DOI: https://doi.org/10.1038/aja.2009.65

8. Huang S., Li H., Ding X., Xiong C. Presence and characterization of cell-free seminal RNA in healthy individuals: implications for noninvasive disease diagnosis and gene expression studies of the male reproductive system. Clinical Chemistry. 2009;55(11):1967–1976. DOI: https://doi.org/10.1373/clinchem.2009.131128

9. Di Pizio P., Celton N., Menoud P. A., Belloc S., Cohen Bacrie M., Belhadri-Mansouri N., et al. Seminal cell-free DNA and sperm characteristic's: An added biomarker for male infertility investigation. Andrologia. 2020;53(1). DOI: https://doi.org/10.1111/and.13822

10. Costa F., Barbisan F., Assmann C. E., Araújo N. K. F., de Oliveira A. R., Signori J. P., et al. Seminal cell-free DNA levels measured by PicoGreen fluorochrome are associated with sperm fertility criteria. Zygote. 2017;25(2):111–119. DOI: https://doi.org/10.1017/s0967199416000307

11. Chou J. S., Jacobson J. D., Patton W. C., King A., Chan P. J. Modified isocratic capillary electrophoresis detection of cell-free DNA in semen. Journal of Assisted Reproduction and Genetics. 2004;21:397–400. DOI: https://doi.org/10.1007/s10815-004-7527-6

12. Qasemi M., Mahdian R., Amidi F. Cell-free DNA discoveries in human reproductive medicine: providing a new tool for biomarker and genetic assays in ART. Journal of assisted reproduction and genetics. 2021;38:277–288. DOI: https://doi.org/10.1007/s10815-020-02038-4

13. Froman D. P., Kirby J. D. Sperm Mobility: Phenotype in Roosters (*Gallus domesticus*) Determined by Mitochondrial Function. Biology of reproduction. 2005;72(3):562–567. DOI: https://doi.org/10.1095/biolreprod.104.035113

14. Meyers S., Bulkeley E., Foutouhi A. Sperm mitochondrial regulation in motility and fertility in horses. Reproduction in Domestic Animals. 2019;54(S3):22–28. DOI: https://doi.org/10.1111/rda.13461

15. Chou J. S., Jacobson J. D., Patton W. C., King A., Chan P. J. Modified Isocratic capillary electrophoresis detection of cell-free DNA in semen. Journal of assisted reproduction and genetics. 2004;21:397–400. DOI: https://doi.org/10.1007/s10815-004-7527-6

16. Li H. G., Huang S. Y., Zhou H., Liao A. H., Xiong C. L. Quick recovery and characterization of cell-free DNA in seminal plasma of normozoospermia and azoospermia: implications for non-invasive genetic utilities. Asian Journal of Andrology. 2009;11(6):703–709. DOI: https://doi.org/10.1038/aja.2009.65

Сведения об авторах

✉ **Курочкин Антон Алексеевич,** младший научный сотрудник лаборатории биологии развития, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», Московское шоссе, 55а, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4430-4770,**
e-mail: kurochkin.anton.66@gmail.com

Кузьмина Татьяна Ивановна, доктор биол. наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией биологии развития, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», Московское шоссе, 55а, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4218-6080**

Притужалова Анна Олеговна, младший научный сотрудник лаборатории биологии развития, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», Московское шоссе, 55а, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625,
e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2865-9582**

Information about the authors

✉ **Anton A. Kurochkin**, junior researcher, the Laboratory of Developmental Biology, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Moscow highway, 55a, village Tyarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4430-4770,**
e-mail: kurochkin.anton.66@gmail.com

Tatyana I. Kuzmina, DSc in Biological Science, professor, chief researcher, Head of the Laboratory of Developmental Biology, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Moscow highway, 55a, village Tyarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4218-6080

Anna O. Prituzhalova, junior researcher, the Laboratory of Developmental Biology, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Moscow highway, 55a, village Tyarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2865-9582**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.906–919
УДК 636.5.034:636.082.22

(cc) BY

Взаимосвязь распределения пробегов гомозиготности в геноме русских белоснежных кур с продуктивными и адаптивными признаками в зависимости от направленности селекционной работы в породе

© 2024. Е. С. Федорова✉, Н. В. Дементьева, О. И. Станишевская, А. Е. Рябова
Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В последние годы все большее внимание уделяется проблеме сохранения генетического разнообразия сельскохозяйственных животных и птиц. Однако непременным условием экономической целесообразности сохранения любой породы является не только ее уникальность, но и возможность практического использования. Примером может служить русская белоснежная порода кур в биоресурсной коллекции ВНИИГРЖ. Она была создана путем селекции русских белых кур на терморезистентность в условиях низких температур, а также на устойчивость к неопластическим заболеваниям. В настоящее время данная порода является специализированной для целей биопромышленности (сырье для производства эмбриональных вирусных вакцин). Изменение направления селекционной работы привело к модификации генетической структуры популяции. Постоянное селективное давление на один конкретный признак может привести к уменьшению изменчивости вокруг геномных областей, связанных с этим признаком. Поэтому понимание генетических механизмов, приводящих к фенотипической дифференциации, требует идентификации областей в геноме, которые находились под давлением отбора. Изучение показателей пробегов гомозиготности (ROH) может предоставить полезную информацию об истории отбора популяции, а также позволить лучше понять отношения генотип-фенотип за счет открытия генов, которые находятся или находились под давлением отбора. В специфичных для двух поколений кур островках ROH аннотированы наиболее релевантные гены-кандидаты, связанные с адаптационными признаками. Установлено, что генетический анализ на основе изменения ROH может использоваться для характеристики генетического профиля кур и изменения структуры популяции под воздействием селекционного давления. Эти данные особенно важно учитывать при оценке качественных фенотипических признаков, таких как адаптационные возможности организма.

Ключевые слова: *селекция, поколения отбора, гомозиготные районы, инбридинг, гены-кандидаты, русская белоснежная порода*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (тема № 124020200029-4).

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

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

***Для цитирования*:** Федорова Е. С., Дементьева Н. В., Станишевская О. И., Рябова А. Е. Взаимосвязь распределения пробегов гомозиготности в геноме русских белоснежных кур с продуктивными и адаптивными признаками в зависимости от направленности селекционной работы в породе. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):906–919. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.906-919

Поступила: 14.05.2024 Принята к публикации: 16.09.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

The relationship of the distribution of ROH in the genome of Russian snow-white chickens with productive and adaptive traits, depending on the direction of selection

© 2024. Elena S. Fedorova✉, Natalia V. Dementieva, Olga I. Stanishevskaya, Anna E. Ryabova
All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Saint Petersburg, Russian Federation

In recent years, increasing attention has been paid to the problem of preserving the genetic diversity of farm animals and poultry. However, an indispensable condition for the economic feasibility of preserving any breed is not only its uniqueness, but also the possibility of practical use. An example is the Russian snow-white breed of chickens in the VNIIGRZh bioresource collection. It was developed by breeding of Russian white chickens for thermal resistance at low temperature conditions, as well as for resistance to neoplastic diseases. Currently, this breed is specialized for the purposes of the bio-industry (raw

materials for the production of embryonic viral vaccines). The change in the direction of breeding work led to a modification of the genetic structure of the population. Constant selective pressure on one particular trait can lead to a decrease in variability around the genomic regions associated with that trait. Therefore, understanding the genetic mechanisms leading to phenotypic differentiation requires the identification of regions in the genome that were under selection pressure. The study of runs of homozygosity (ROH) rates can provide useful information about the history of population selection, as well as allow for a better understanding of the genotype-phenotype relationship by discovering genes that are or were under selection pressure. In ROH islands specific to two generations of chickens, the most relevant candidate genes associated with adaptive traits are annotated. It has been established that genetic analysis based on changes in ROH can be used to characterize the genetic profile of chickens and to change the structure of the population under the influence of selection pressure. These data are especially important to take into account when evaluating qualitative phenotypic features, such as the adaptive capabilities of chickens.

Keywords: *selection, breeding generations, runs of homozygosity, inbreeding, candidate genes, Russian snow-white breed*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (theme No. 124020200029-4).

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

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

Для цитирования: Fedorova E. S., Dementieva N. V., Stanishevskaya O. I., Ryabova A. E. The relationship of the distribution of ROH in the genome of Russian snow-white chickens with productive and adaptive traits, depending on the direction of selection. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):906–919. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.906-919

Received: 14.05.2024 Accepted for publication: 16.09.2024 Published online: 30.10.2024

В последние годы все большее внимание уделяется проблеме сохранения генетического разнообразия сельскохозяйственных животных и птиц, в частности, кур. Особую ценность приобретают локальные генофондные породы кур, поскольку именно они являются резервуаром уникальных генов, отвечающих за адаптацию к разным условиям среды, устойчивость к различным заболеваниям, качество получаемой продукции. Сохранить породу в том виде, в котором она изначально существовала, в большинстве случаев невозможно, в основном ввиду ее малочисленности. Одним из путей повышения экономической целесообразности сохранения той или иной генофондной породы кур является ее практическое использование, например, для создания уникальных узкоспециализированных популяций или кроссов для производства продукции птицеводства с заданными свойствами.

Примером такого подхода может служить русская белая порода кур, содержащаяся в биоресурсной коллекции «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур» ВНИИГРЖ и обладающая высокими адаптационными способностями в условиях низких температур, начиная с суточного возраста. Кроме того, эмбрионы кур данной породы характеризуются высокими показателями объема и биологической активности аллантоисно-амниотической жидкости (сырье для биопромышленности).

Данная популяция была создана во второй половине XX века в результате отбора генотипов, терморезистентных в условиях сублетальных пониженных температур. Для молодняка русских белых кур в ранний неонатальный период условиями нормального роста и развития определены температуры в среднем 20 ºС (18–23 ºС) против общепринятых 30–33 ºС [1].

С курами популяции русская белая проводили селекционную работу на устойчивость к неопластическим заболеваниям. В 80-е годы прошлого века в стаде кур русской белой породы, свободной от лейкоза, также велась селекционная работа на устойчивость к болезни Марека, в результате которой уровень заболеваемости в стаде без проведения профилактических прививок составил в пределах 0,2–1,2 %.

Развивающиеся эмбрионы новой популяции кур в породе русская белая использовали и при производстве вакцинных препаратов. Была изучена их выживаемость в сравнении с эмбрионами белых леггорнов при заражении вакцинными штаммами вирусов гриппа. Установлено, что летальность эмбрионов белого леггорна при заражении различными штаммами вируса гриппа составила 18–60 % против 0–7 % у русских белых кур. При анализе аллантоисной жидкости на контаминирующие вирусы было установлено, что вирус лейкоза саркомы обнаружен в 5,9 % проб в популяции русской белой против 23 % у белых леггорнов.

С 2000 г. селекционную работу с популяцией не проводили. Целенаправленная селекционная работа с русскими белыми курами была возобновлена в 2014 г. [2], в результате популяция получила название русской белоснежной (далее РБ).

Поскольку работать предстояло с небольшой замкнутой популяцией, то, прежде всего, необходимо было сохранить ее гетерозиготность. Основным направлением прикладной селекционной работы было выбрано создание популяции, специализированной для целей биопромышленности (производство эмбриональных вирусных вакцин и диагностикумов), поскольку эмбрионы кур данной породы показали наилучший результат по выходу и биологической активности экстраэмбриональной жидкости их эмбрионов в сравнении с эмбрионами кур других генофондных пород и линий кур промышленных яичных кроссов. Основными критериями отбора кур при формировании гнёзд служили: яйценоскость, масса яиц, средний выход экстраэмбриональной жидкости от 3–5 эмбрионов (не менее 0,200 мл/г массы яйца и не менее 10 мл).

Постоянное селективное давление на один конкретный признак может привести к уменьшению изменчивости вокруг геномных областей, связанных с этим признаком. Поэтому понимание генетических механизмов, приводящих к фенотипической дифференциации, требует идентификации областей в геноме, которые находились под давлением отбора. Присутствие ROH может предоставить полезную информацию об истории отбора популяции, а также позволить лучше понять отношения генотип-фенотип за счет открытия генов, которые находятся или находились под давлением отбора.

Цель исследования – охарактеризовать генетическую изменчивость куриной популяции РБ в разных поколениях отбора по показателям пробегов гомозиготности, чтобы выявить изменения структуры популяции под воздействием направления отбора.

Научная новизна – впервые аннотированы ключевые гены-кандидаты, отвечающие за адаптивные (терморезистентность, устойчивость к неоплазмам) и продуктивные (выход вакцинного сырья) признаки, и связанные с изменением фенотипических и генетических паттернов в поколениях отбора кур в зависимости от направления селекционного давления.

Материал и методы. Материалом для выделения геномной ДНК послужили образцы крови кур (*Gallus gallus domesticus*), взятые из подмышечной вены (20 кур породы русская белая – исходная популяция 2001 г., 177 кур породы русская белая – новая популяция F_5). Образцы крови были собраны в соответствии с этическими рекомендациями ВНИИГРЖ. ДНК выделяли с использованием фенолхлороформной экстракции. Количество и качество образцов ДНК были протестированы на спектрофотометре NanoDrop 2000. Генотипирование отдельных образцов проводили с использованием чипов Illumina Chicken 60K SNP BeadChip ®. Все генотипы кур были отфильтрованы в соответствии с эффективностью генотипирования. Для анализа применяли только SNP, расположенные на аутосомах от GGA1 до GGA28, и генотип SNP менее чем в 95 % образцов был исключен из анализа, в котором использовались следующие параметры для фильтрации SNP: --maf 0,05, --geno 0,02, --hwe 0,0001. Чтобы исключить влияние половых хромосом на последующую оценку, SNP-маркеры, расположенные на них, были исключены.

Оценку внутрипопуляционного генетического разнообразия и анализа ROH находили с помощью программного обеспечения PLINK 1.9 [3, 4].

Поиск гомозиготных областей по отдельным хромосомам осуществлялся с использованием программы PLINK 1.9 и пакета detect-Runs в R по следующим параметрам: минимальный размер гомозиготного района 500 000 п. н., размер окна 15 SNP, порог перекрытия окна 0.1, минимальное количество SNP в области 15, максимальное количество гетерозиготных SNP в окне – 1.

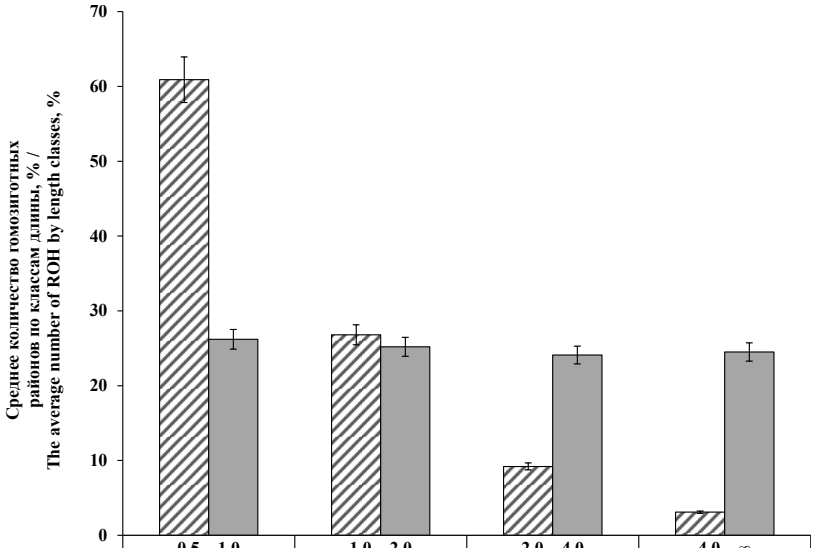
PLINK 1.9 использовали для оценки F_{ROH} (коэффициента инбридинга на основе ROH с SD). Оценивали количество и длину ROH для каждой особи, а затем усредняли их для каждой особи в пределах каждой породы. Количество ROH в геномах двух исследуемых пород было изучено с использованием следующих классов длины ROH: 0,5-1,0; 1,0-2,0; 2,0–4,0 и 4,0–8,0 Мб. Чтобы определить долю генома, покрытого различными сегментами ROH, мы рассчитали сумму ROH для следующих различных минимальных длин – > 0,5; > 1,0; > 2,0; > 4,0 Мб.

Предполагаемые островки ROH были идентифицированы как перекрывающиеся гомозиготные области, общие более чем для 50 % проанализированных особей внутри каждой породы. Для определения предполагаемого гена-кандидата в геномных областях была использована геномная локализация областей, определенных как островки ROH. Границы этих областей, локализованных в хромосомах эталонной сборки GRCgba, использовали в качестве списка запросов для извлечения куриных генов с поддержкой веб-базы

данных Ensembl Genes release 103 и инструмента анализа данных Ensembl biomaRt[1]. Регулировку положения перед сборкой GRCg6a выполняли с использованием файла, содержащего информацию о полиморфизмах, включенных в биочип Cobb Vantress Chicken 50k, который был предоставлен компанией Illumina. Результаты, полученные с помощью браузера Ensemble для каждой геномной области селекционных сигнатур, были просеяны вручную и сравнены с соответствующими опубликованными исследованиями для определения основного кандидата и других генов, представляющих интерес. Кроме того, с помощью базы данных Chicken QTLdb провели поиск известных QTL, которые пересекаются с островами ROH, выявленными в наших исследованиях.

Статистическую обработку результатов проводили в Microsoft Excel и Statistica 10.0. Рассчитаны средние значения для групп (M) и стандартная ошибка средних значений (±SEM). Достоверность различий оценивалась по t-критерию Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. В ходе сравнительного анализа распределения ROH в поколениях популяции кур породы русская белоснежная было установлено, что общая длина ROH в геноме «исходной» популяции равномерно представлена сегментами разной длины, что указывает на значительную степень инбридинга и высокую степень гомозиготности. Более длинные сегменты ROH (более 6,0 Мб) отражают недавний инбридинг, в данном случае обусловленный малочисленностью популяции, который чаще всего оказывает неблагоприятное влияние на показатели жизнеспособности и продуктивности птицы. В то же время общая длина ROH в геноме «новой» популяции в основном представлена набором коротких сегментов, которые отражают более ранние, предковые области инбридинга (рис. 1), свидетельствующие об истории селекционной работы в породе и адаптации данной популяции птицы к пониженным температурам окружающей среды; данная популяция характеризуется более высокой степенью гетерозиготности. Островок ROH свидетельствует о том, что области генома испытывали на себе давление естественного или искусственного отбора. Из-за короткого гетерозиготного разрыва в последовательности ROH он имеет тенденцию становиться короче [5]. Таким образом, благодаря индивидуальному отбору и подбору родительских пар, в результате направленной селекционной работы за 5 поколений отбора птицы удалось снизить долю ROH-сегментов длиной 4,0 Мб и более с 25 до 3 %.



	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	2.0 – 4.0	4.0 – ∞
Русская белая "новая" / Russian Snow-White "new"	60,9	26,8	9,2	3,1
Русская белая "исходная" / Russian Snow-White "original"	26,2	25,2	24,1	24,5

Класс длины гомозиготных районов, Mb / Length class of ROH, Mb

Рис. 1. **Описательная статистика пробегов гомозиготности (ROH) по классу длины ROH у кур породы русская белоснежная в различных поколениях /**

Fig. 1. **Descriptive statistics of ROH by ROH length class in Russian snow-white chicken breed in different generations**

[1]Ensembl. [Электронный ресурс]. URL: http://www.ensembl.org/index.html (дата обращения: 01.05.2024).

На рисунке 2 представлен график, отражающий уровень накопления гомозиготных районов в обеих популяциях РБ кур разных поколений. В «новой» популяции подавляющее поголовье кур имеет суммарную длину ROH в пределах 150–200 Мб на голову (в среднем 175 Мб), у кур «исходной» популяции – в пределах 410–440 Мб (в среднем 425 Мб) с тенденцией к увеличению, причем 410 Мб – минимальное значение для этой выборки. Полученные данные свидетельствуют о значительной степени инбридинга в исходной популяции кур русской белоснежной породы и наглядно демонстрируют эффективное влияние направленного индивидуального отбора и подбора как средства увеличения генетического разнообразия в популяции и снижения уровня инбридинга.

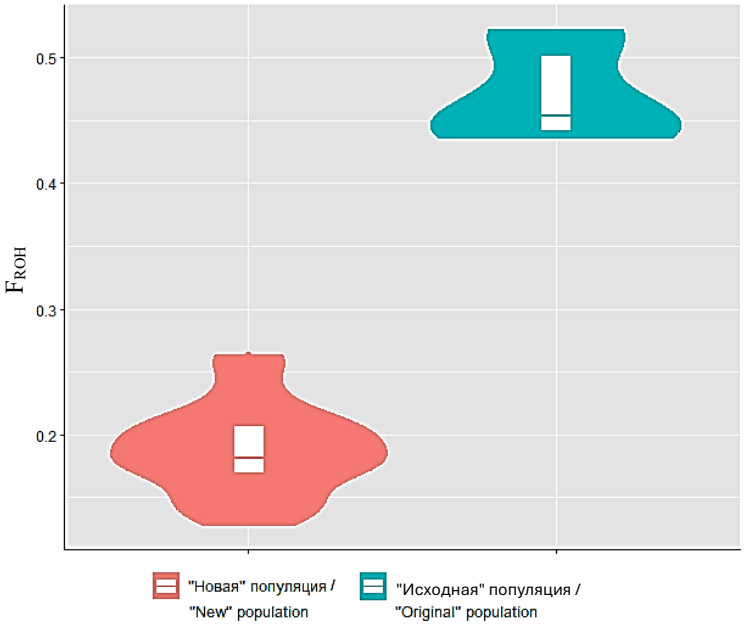


Рис. 2. **График средних значений, квартилей и частоты (ширина графика) на основе F_{ROH} для разных поколений кур породы русская белоснежная /**

Fig.2. **A graph of averages, quartiles and frequencies (graph width) based on F_{ROH} for different generations of Russian snow-white chickens**

В таблице 1 представлены показатели генетической изменчивости в двух различных поколениях РБ кур. Фактическая гетерозиготность для «новой» популяции была на 4 % ниже ожидаемой – это связано с тем, что в «новой» популяции проводили отбор по хозяйственно полезным признакам, который был направлен на повышение однородности популяции.

Искусственный отбор, как известно, приводит к изменениям в определенных областях генома, а постоянное селективное воздействие на конкретный признак может привести к снижению изменчивости вокруг геномных областей, связанных с этим признаком. На протяжении 10 лет «исходная» популяция РБ кур характеризовалась малочисленностью, находилась на свободном спаривании, являлась по сути панмиктической: в ней не проводили селекционную работу по хозяйственно полезным признакам, за исключением фенотипических показателей (экстерьер, окраска оперения и пуха суточных цыплят). При возобновлении селекционной работы и создании «новой» популяции кур на базе «исходной» основными критериями отбора являлись яичная продуктивность птицы (яйценоскость, масса яйца) и выход экстраэмбриональной жидкости 12-суточных эмбрионов (не менее 10,0 мл и не ниже 0,200 мл/г массы яйца), а также проводился индивидуальный подбор родительских пар с целью снижения уровня инбридинга. Уровень отбора птицы в гнезда по петухам составил 5–8 % и 25–35 % – по курам.

Динамика изменения уровня инбридинга по каждой хромосоме между двумя поколениями кур более наглядно представлена на рисунке 3. В целом в «новой» популяции наблюдали значительное его снижение почти по всем хромосомам (значения F_{ROH} находились в пределах 0,12–0,25), в отличие от «исходной» популяции, где значения коэффициента инбридинга, рассчитанного на основе ROH, у большинства оцененных особей изменялись в пределах 0,33–0,55. Также генетическая структура «новой» популяции стала более однородной.

В процессе селекционной работы уровень инбридинга для хромосом GGA11 и GGA23 не изменился, что, очевидно, объясняется отсутствием селекционного давления на расположенные на данных хромосомах геномные регионы. Согласно AnimalQTLdb (https://www.animalgenome.org/cgi-bin/QTLdb/index), на этих хромосомах обнаружены QTL, связанные

с цветом яичной скорлупы, живой массой, длиной плюсны, шириной голени, скоростью роста в возрасте 8–46 дней, содержанием абдоминального жира в тушке, т. е. отвечающие за признаки, находившиеся под воздействием лишь косвенного отбора.

Таблица 1 – **Индексы генетической изменчивости для кур породы русская белоснежная в разных поколениях отбора /**
Table 1 – **Indices of genetic variability for Russian Snow-Shite chickens in different breeding generations**

Популяция / Population	*n*	*Ho±SD*	*He±SD*	F_{ROH} *±SD*
Русская белоснежная «исходная» / Russian snow-white «original»	20	$0{,}225^{a}$ ±0,002	$0{,}226^{a}$ ±0,001	$0{,}351^{a}$ ±0,008
Русская белоснежная «новая» / Russian snow-white «new»	177	$0{,}285^{b}$ ±0,001	$0{,}296^{b}$ ±0,001	$0{,}083^{b}$ ±0,006

Примечания: n – число голов; Ho – фактическая гетерозиготность; He – ожидаемая гетерозиготность; F_{ROH} – коэффициент инбридинга, рассчитанный на основе ROH. Значения статистически достоверны при: ab P<0,001 /

Notes: N – the number of individuals per breed; Ho – observed heterozygosity; He – expected heterozygosity; F_{ROH}, mean ROH-based inbreeding coefficient with SD. Values superscripted by different letters within the same column are significantly different: ab at P<0.001.

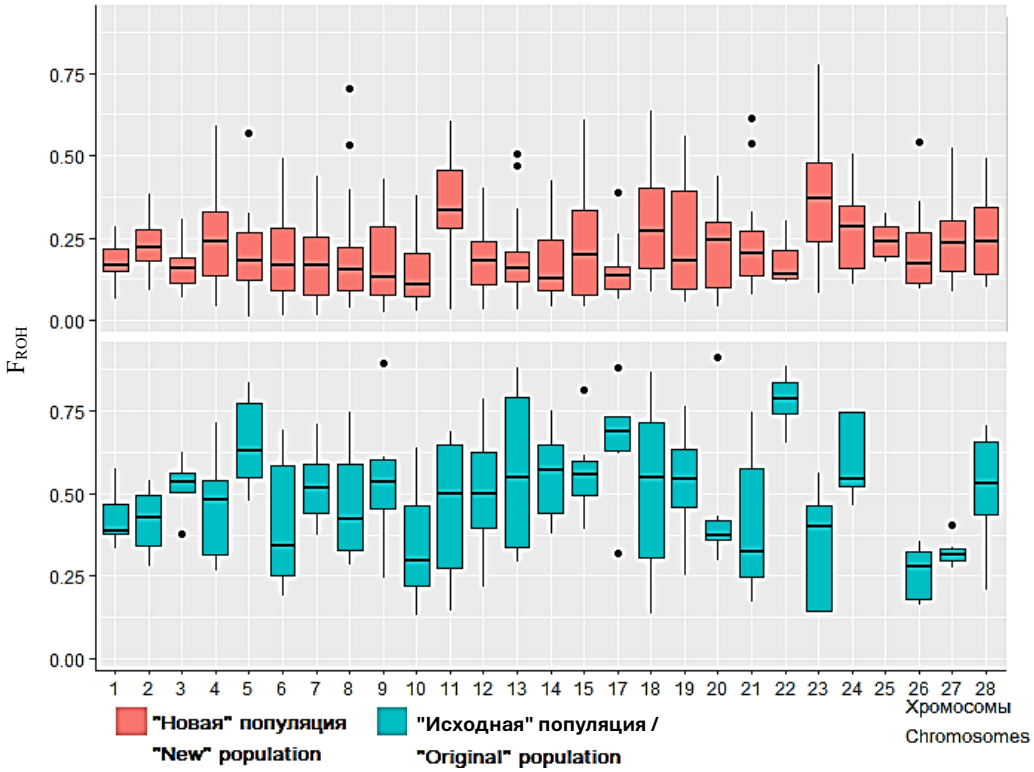


Рис. 3. **Уровень инбридинга по хромосомам, рассчитанный на основе F_{ROH} для разных поколений кур русской белоснежной породы /**

Fig. 3. **The level of inbreeding by chromosomes, calculated on the basis of FROH for different generations of Russian snow-white chickens**

В «новой» популяции, в отличие от «исходной», селекция на терморезистентность молодняка в условиях пониженных температур, а также на устойчивость птицы к неопластическим заболеваниям не проводилась. Поэтому давление отбора на геномные регионы, которые, предположительно, отвечают за реализацию данных признаков, было значительно снижено, что привело к уменьшению уровня инбридинга – F_{ROH} – на GGA5 в 4 раза, GGA17 – в 5 раз, GGA19 – в 3 раза, GGA22 – в 6 раз, на GGA18 и GGA28 – в 2 раза. На этих хромосомах анализ ROH выявил области генома, содержащие гены, связанные с механизмами иммунной системы, которые могли быть выбраны в ответ на холодовой стресс и устойчивость к неопластическим заболеваниям. Список таких ключевых генов-кандидатов, расположенных в общих регионах ROH, имеющихся у более чем 50 % кур «исходной» популяции (и менее чем у 50 % кур «новой»), представлен в таблице 2.

Таблица 2 – **Аннотированные наиболее релевантные гены-кандидаты у РБ кур «исходной» популяции, предположительно связанные с адаптацией к низким температурам и устойчивостью к неопластическим заболеваниям /**
Table 2 – **Annotated most relevant candidate genes in Russian White chickens of the «original» population, presumably associated with adaptation to low temperatures and resistance to neoplastic diseases**

Ген / Gene	*Локация / Location*	*Функция / Function*
1	2	3
TNC	17: 3,013,995–3,080,597	Связан с устойчивостью к сальмонеллезу. Помимо высокого уровня экспрессии в опухолях, а также при хроническом воспалении, бактериальной и вирусной инфекции, *TNC* также экспрессируется в лимфоидных органах. Это подтверждает потенциальную роль *TNC* в контроле иммунитета [6, 7] / This gene is associated with resistance to salmonellosis. In addition to the high level of expression in tumors, as well as in chronic inflammation, bacterial and viral infections, *TNC* is also expressed in lymphoid organs. This confirms the potential role of *TNC* in immune control
TLR4	17: 3,938,801–3,944,462	Белок, кодируемый этим геном, является членом семейства Toll-подобных рецепторов (*TLR*), которые играют фундаментальную роль в распознавании патогенов и активации врожденного иммунитета. Передача сигналов *TLR4* и его нижестоящие молекулы вместе с определенными цитокинами играют ключевую роль в остром повреждении печени у молодых цыплят. Ответ на распознавание патогена *TLR* инициируют как врожденные, так и адаптивные иммунные реакции [8, 9] / The protein encoded by this gene is a member of the Toll-like receptor (*TLR*) family, which play a fundamental role in pathogen recognition and activation of innate immunity. *TLR4* signaling and its downstream molecules, together with certain cytokines, play a key role in acute liver damage in young chickens. The response to *TLR* pathogen recognition is initiated by both innate and adaptive immune responses
NDUFA8	17: 8,997,900–9,005,905	Влияет на уровни адреналина и кортикостерона в плазме в результате острого теплового стресса [10] / It affects the levels of adrenaline and corticosterone in plasma as a result of acute heat stress
HSPA5	17: 9,889,792–9,894,920	Ген-кандидат, связанный с тепловым стрессом у кур. Белок, кодируемый этим геном, является членом семейства белков теплового шока 70 *(HSP70*) [11] / A candidate gene associated with heat stress in chickens. The protein encoded by this gene is a member of the heat shock 70 (*HSP70*) protein family
CYGB	18: 4,342,040–4,352,815	Может выполнять защитную функцию в условиях окислительного стресса [12] / It can perform a protective function in conditions of oxidative stress
ACOX1	18: 4,585,928–4,604,300	Участвует в регуляции адаптации к гипоксии посредством липидного обмена у тибетских кур и других высокогорных животных [13] / Participates in the regulation of adaptation to hypoxia through lipid metabolism in Tibetan chickens and other alpine animals
RECQL5	18: 4,777,175–4,814,056	Играет роль супрессора опухолей. Хеликаза *RecQL5* необходима для поддержания стабильности генома и снижения риска развития рака [14] / It plays the role of a tumor suppressor. *RecQL5* helicase is necessary to maintain genome stability and reduce the risk of cancer
FASN	18: 4,910,963–4,948,124	Синтетаза жирных кислот. Участвует в регуляции адаптации к гипоксии посредством липидного обмена у тибетских кур и других высокогорных животных. Маркер адипогенеза [13] / Synthetase of fatty acids. Participates in the regulation of adaptation to hypoxia through lipid metabolism in Tibetan chickens and other alpine animals. A marker of adipogenesis
NME2	18: 5,064,032–5,066,292	Представляет собой σA-связывающий белок, который может влиять на репликацию реовируса в клетках фибробластов куриного эмбриона. Сверхэкспрессия *NME2* существенно ингибирует репликацию реовируса [15] / It is a σA-binding protein that can influence reovirus replication in chicken embryo fibroblast cells. Overexpression of *NME2* significantly inhibits rhinovirus replication
MYH7	19: 56,925–74,071	Важный кандидат на высотную адаптацию у тибетских кур. Экспрессируется в тканях скелетных мышц, богатых медленными мышечными волокнами I типа. Изменения относительного содержания этого белка и тяжелой альфа-(или быстрой) субъединицы сердечного миозина коррелируют со скоростью сокращения сердечной мышцы [16] / An important candidate for high-altitude adaptation in Tibetan chickens. It is expressed in skeletal muscle tissues rich in type I slow muscle fibers. Changes in the relative content of this protein and the heavy alpha (or fast) subunit of cardiac myosin correlate with the rate of contraction of the heart muscle

Продолжение табл. 2

1	2	3
CCL4	19: 569,263–570,383	Хемокин *CCL4* может ингибировать метаболизм глюкозы и репликацию лейкоза птиц группы J в куриных макрофагах [17] / The chemokine *CCL4* can inhibit glucose metabolism and ALV-J replication in chicken macrophages
CCL5	19: 581,831–584,021	Играет роль во врожденном иммунном ответе, в частности на вирусную инфекцию. Этот хемокин, член подсемейства *CC*, действует как хемоаттрактант для моноцитов крови, Т-хелперных клеток памяти и эозинофилов. Он вызывает высвобождение гистамина из базофилов и активирует эозинофилы [18] / It plays a role in the innate immune response, in particular in the immune response to viral infection. This chemokine, a member of the CC subfamily, acts as a chemoattractant for blood monocytes, T-helper memory cells and eosinophils. It causes the release of histamine from basophils and activates eosinophils
CASP1	19: 844,517–849,701	Тиоловая протеаза играет ключевую роль в клеточном иммунитете в качестве инициатора воспалительной реакции: после активации посредством образования воспалительного комплекса он инициирует провоспалительную реакцию посредством расщепления двух воспалительных цитокинов *IL1B* и *IL18*, высвобождая зрелые цитокины, которые участвуют в воспалительном процессе [19, 20] / Thiol protease plays a key role in cellular immunity as an initiator of an inflammatory reaction: after activation through the formation of an inflammatory complex, it initiates a proinflammatory reaction by cleavage of two inflammatory cytokines *IL1B* and *IL18*, releasing mature cytokines that are involved in the inflammatory process
HSPB1	19: 4,402,672–4,405,449	Участвует в термотолерантности бройлеров, белок теплового шока [21] / Participates in the thermal tolerance of broilers, heat shock protein
CCL26	19: 4,940,328–4,942,879	Куриный *CCL26* может быть основным хемокином в адипоцитах курицы, имеет решающее значение для определения селективной инфильтрации жировых депо макрофагов (ATM), которые могут быть важным средством транспортировки липидов в подкожной жировой ткани кур. Этот белок также обладает антимикробной активностью, оказывая антибактериальное действие на *S. pneumoniae, S. aureus*, нетипируемый *H. influenzae* и *P. Aeruginosa* [22] / Chicken *CCL26* may be the main chemokine in chicken adipocytes, is crucial for determining the selective infiltration of macrophage fat depots (ATM), which may be an important means of transporting lipids in the subcutaneous adipose tissue of chickens. This protein also has antimicrobial activity, exerting antibacterial effects on S. *pneumoniae, S. aureus, untyped H. influenzae* and *P. Aeruginosa*
EMC6	19: 6,781,863-6,788,772	Потенциальный ген-кандидат и транскрипт (ко-) факторов устойчивости к инфекции сальмонеллы [23] / Potential candidate gene and transcript of (co-) salmonella infection resistance factors
CD40	20: 10,622,014-10,625,753	Способность сигналов, опосредованных MHC класса II, усиливать ответ антиген (Ag)-специфических В-клеток на передачу сигналов, опосредованную *CD40*, может избирательно способствовать активации клонов В-клеток, способных к родственным взаимодействиям с Т-хелперами [24] / The ability of MHC Class II-mediated signals to enhance the response of antigen (Ag)-specific B-cells to *CD40*-mediated signal transmission may selectively promote the activation of B-cell clones capable of related interactions with T-helper cells
RAB22A	20: 11,219,059-11,231,208	Это небольшой белок ГТФазы, который играет центральную роль в эндоцитарном трафике MHC-I, что имеет решающее значение для эффективной перекрестной презентации дендритным клеткам. Изучаются онкогенные свойства *Rab22A* и то, как его экспрессия определяет прогрессирование многих опухолей [25] / This protein plays a central role in the endocytic traffic of MHC-I, which is crucial for effective cross-presentation to dendritic cells. The oncogenic properties of *Rab22A* and how its expression determines the progression of many tumors are being studied
SSBP4	28: 4,037,709–4,047,283	Способны к потенциальной опухолевой супрессорной активности за счет дозировки генов или других эпигенетических механизмов [26] / It is capable of potential tumor suppressor activity due to the dosage of genes or other epigenetic mechanisms

В результате анализа пробегов гомозиготности у «исходной» популяции было выявлено порядка 1023 QTL, расположенных в этих областях, которые были связаны как с хозяйственно полезными признаками (% желтка, качество желтка и белка, цвет яичной скорлупы, скорость роста, возраст снесения первого яйца, живая масса, масса яйца, прочность яичной скорлупы, яйценоскость, содержание абдоминального жира, коэффициент конверсии корма), так и с адаптивными, а также с поддержанием гомеостаза и иммунной системы (реакция антител к эритроцитам барана, гемоцианину улитки, липополисахариду, *Salmonella enteridis, E.coli*, бактериальная нагрузка селезенки, печени и слепой кишки после заражения *Salmonella enteridis*, титры антител к болезни Нью-Касла, брюшному тифу птиц, устойчивость к болезни Марека, масса тимуса, бурсы, кортикостероновая реакция, стрессоустойчивость, склонность к расклеву, насыщенность крови кислородом, уровни тироксина, инсулина, глюкагона, триглицеридов, холестерина, лактата и глюкозы в крови, pH крови, средний объем клеток крови, количество эритроцитов). В целом конфигурация гомозиготных районов у кур «старой» и «новой» популяций русской белоснежной породы повторяется. Но за счет проведения индивидуального подбора и отбора кур в «новой» популяции, а также изменения направленности селекционной работы (создание специализированной популяции для производства эмбриональных вирусных вакцин) концентрация ROH в их геноме значительно ниже (рис. 4).

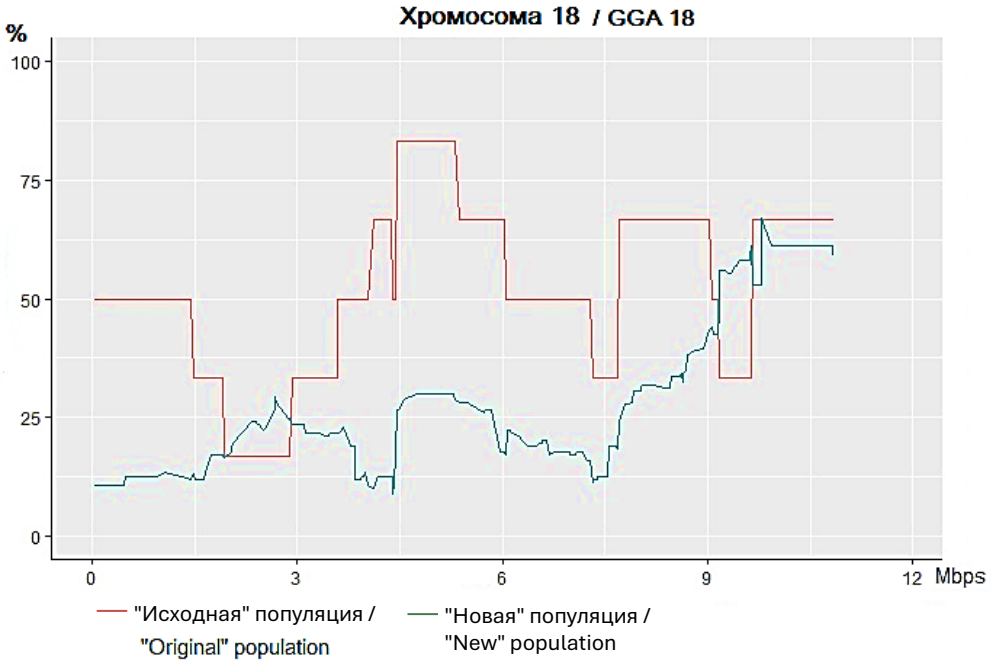


Рис.4. **Конфигурация пробегов гомозиготности у кур русской белоснежной породы «исходной» и «новой» популяций на примере GGA18 /**

Fig.4. **The configuration of ROH in the Russian snow-white chickens of the «original» and «new» populations on the example of GGA18**

Несмотря на длительный период, в течение которого селекционная работа с русскими белоснежными курами на поддержание терморезистентности в условиях низких температур не проводилась, птица все же сохранила свою высокую адаптационную способность к холоду [27].

Интенсивная селекционная работа с вновь созданной популяцией русских белоснежных кур привела к снижению уровня инбридинга, в том числе рассчитанного на основе ROH, в 4 раза (по сравнению с «исходной»), повышению яйценоскости в 52 недели жизни за 5 поколений отбора на 15 %, массы яиц – на 10 %. Объем аллантоисно-амниотической жидкости в том же возрасте увеличился на 14 % в абсолютной величине (мл) и на 12 % – в относительной (мл/г массы яйца). За 5 поколений отбора (табл. 3) фенотипическое разнообразие (Cv) в породе по яичной продуктивности и выходу аллантоисно-амниотической жидкости уменьшилось вследствие интенсивной селекционной работы, порода стала более однородной.

Таблица 3 – **Яичная продуктивность и выход вакцинного сырья породы русская белоснежная в поколениях отбора /**
Table 3 – **Egg productivity and yield of vaccine raw materials of the Russian snow-white breed in different generations of selection**

Показатель / Indicator	*Возраст оценки, недель жизни / Age of assessment, weeks of life*	*Параметр / Parameter*	*Поколение отбора / Selection generation*	
			F_0	F_5
Выход экстраэмбриональной жидкости, мл / Output of extraembryonic fluid, ml	38	Mcp.±m	10,7±0,2	12,8±0,2
		Cv, %	15,6	8,5
		SD	-	2,1
		SE	-	0,46
Выход экстраэмбриональной жидкости, мл/г / Output of extraembryonic fluid, ml/g	38	Mcp.±m	0,191±0,002	0,228±0,001
		Cv, %	11,4	6,2
		SD	-	0,037
		SE	-	0,013
Масса яйца, г / Egg weight, g	52	Mcp.±m	54,0±0,5	60,2±0,4
		Cv, %	8,5	6,2
		SD	-	6,2
		SE	-	0,7
Яйценоскость, шт. / Eggs per hen, pieces	52	Mcp.±m	134,0±0,9	169,0±0,9
		Cv, %	13,5	9,5
		SD	-	35,0
		SE	-	4,2

Примечания: SD – селекционный дифференциал, который вычисляли по формуле: $SD = \overline{X}p - \overline{X}$, где $\overline{X}p$ – средняя величина признака в отобранной популяции F_5, $\overline{X}$ – среднее значение признака в исходной популяции (F_0); SE – эффект селекции, который вычисляли по формуле: $SE = \frac{h^2 \bullet SD}{i}$, где h^2 – коэффициент наследуемости, рассчитанный по формуле Д. Лаша: $h^2 = \frac{Дл - Дх}{Мл - Мх} \bullet 2$, где *Дл* и *Дх* – средняя продуктивность лучших и худших дочерей соответственно, *Мл* и *Мх* – средняя продуктивность лучших и худших матерей соответственно, *i* – интервал между поколениями /

Notes: SD – the selection differential, it was calculated using the formula: $SD = \overline{X}p - \overline{X}$, where: $\overline{X}p$ – the average value of the trait in the selected population F_5;, $\overline{X}$ – the average value of the trait in the original population (F_0); SE – the selection effect, which was calculated using the formula: $SE = \frac{h^2 \bullet SD}{i}$, where h^2 – the heritability coefficient calculated according to the D. Lush formula: $h^2 = \frac{Db - Dw}{Mb - Mw} \cdot 2$, where *Db* and *Dw* – are the average productivity of the best and worst daughters, respectively; *Mb* and *Mw* – are the average productivity of the best and worst mothers, respectively; *i* – the interval between generations.

По результатам лабораторных вирусологических исследований и производственных испытаний было установлено, что эмбрионы кур русской белоснежной породы обладают наибольшим выходом аллантоисно-амниотической жидкости (сырьё для производства вирусных эмбриональных вакцин для животных и человека) в расчете на эмбрион и массу яйца, а также титрами вакцинных вирусов в ней в сравнении с эмбрионами кур других генофондных пород и кур промышленных яичных кроссов [28]. При тестировании эмбрионов в лабораториях ФГБУ НИИ гриппа им. А. А. Смородинцева и ФГУП СПбНИИВС ФМБА России установлено, что объем вакцинного сырья и титры вирусов гриппа A/Swine (H1N2), B/Phuket и B/Washington и IVR-215/A/Victo-ria/2570/ 2019 (H1N1) в куриных эмбрионах пород русская белоснежная также выше по сравнению с эмбрионами кур промышленных линий (объем жидкости – на 9–17 %, выход гемагглютинина – на 16–19 %) [29].

В результате селекционной работы по созданию «новой» специализированной для целей биопромышленности популяции и усиления давления отбора на соответствующие хозяйственно полезные признаки ее генетическая структура изменилась. С одной стороны, количество ROH длиной 4 Мб и более сократилось на 21,5 %, с другой – сформировались новые сегменты ROH, присутствующие более чем у 50 % особей, которых не было у кур «исходной» популяции. Например, появились районы гомозиготности на GGA25, F_{ROH} для которых составил 0,19–0,28 (рис. 3). В таблице 4 представлены 5 таких специфичных областей на 4 хромосомах.

Таблица 4 – **Аннотированные наиболее релевантные гены-кандидаты у русских белоснежных кур «новой» популяции, предположительно связанные с отбором на повышение выхода и качества вакцинного сырья (экстраэмбриональной жидкости их эмбрионов) /**
Table 4 – **Annotated most relevant candidate genes in Russian snow-white chickens of the «new» population, presumably associated with selection to increase the yield and quality of vaccine raw materials (extraembryonic fluid of their embryos)**

Локация / Location	*Ген / Gene*	*Функция / Function*
2: 54,867,331-56,831,199	*IL7*	Интерлейкин-7 млекопитающих (*IL-7*) способен стимулировать пролиферацию и созревание лимфоцитов, а также обратить вспять иммуносупрессию, может быть потенциальным терапевтическим средством для профилактики и лечения инфекционной бурсальной болезни [30] / Mammalian interleukin-7 (*IL-7*) is able to stimulate the proliferation and maturation of lymphocytes, as well as reverse immunosuppression, and may be a potential therapeutic agent for the prevention and treatment of Infectious bursal disease
2: 54,867,331-56,831,199	*RIPK2*	Серин/треонин/тирозин-протеинкиназа, которая играет важную роль в модуляции врожденных и адаптивных иммунных ответов, играет важную роль при бактериальной инфекции [31]. Связан с холодовой адаптацией [32] / Serine/threonine/tyrosine protein kinase, which plays an important role in the modulation of innate and adaptive immune responses, plays an important role in bacterial infection. It is associated with cold adaptation
3: 81,273,290-84,116,491	*CGAS*	Путь *cGAS/STING* отвечает за выработку интерферона типа I и транскрипцию MHC-II. *cGAS*, и *STING* продемонстрировали противовирусное действие против ДНК-вирусов, ретровирусов и РНК-вирусов, что указывает на широкий спектр противовирусных функций и решающую роль во врожденном иммунитете кур [33, 34] / The *cGAS/STING* pathway is responsible for the production of type I interferon and MHC-II transcription. *cGAS* and *STING* have demonstrated antiviral action against DNA viruses, retroviruses and RNA viruses, indicating a wide range of antiviral functions and a crucial role in the innate immunity of chickens
9: 5,136,443-5,867,361	*STK25*	Активируемая окислительным стрессом серин/треониновая киназа, которая может играть роль в реакции на стресс окружающей среды [35] / Oxidative stress-activated serine/threonine kinase, which may play a role in the response to environmental stress
11: 2,356,393-2,622,703	*HSF4*	Фактор теплового шока. Реакция на тепловой шок, регулируемая семейством *HSF*, должна состоять из индукции как классических, так и неклассических генов теплового шока, оба из которых могут быть необходимы для поддержания белкового гомеостаза [36] / The heat shock factor. The heat shock response regulated by the *HSF* family should consist of the induction of both classical and non-classical heat shock genes, both of which may be necessary to maintain protein homeostasis

Заключение. Таким образом, генетический анализ на основе изменения ROH может использоваться для характеристики генетического профиля кур и изменения структуры популяции под воздействием селекционного давления. Эти данные особенно важно учитывать при оценке качественных фенотипических признаков, таких как адаптационные возможности организма.

В результате этого исследования получена информация об изменении структуры популяции под воздействием направленного отбора, установлены гомозиготные районы, характерные для «исходной» и «новой» попу-

ляции кур породы русская белоснежная, которые позволяют лучше понять отношения генотип-фенотип за счет анонсирования наиболее релевантных генов-кандидатов, находящихся под селекционным давлением и связанных с фенотипической дифференциацией изученных поколений отбора кур.

References

1. Федорова Е. С., Станишевская О. И. Пути сохранения и использования генофондных пород и популяций сельскохозяйственных птиц на примере русской белой породы кур. Птицеводство. 2020;(7-8):5–10. DOI: https://doi.org/10.33845/0033-3239-2020-69-7-8-5-10 EDN: ECEELP

Fedorova E. S., Stanishevskaya O. I. New possibilities of the preservation and practical usage of rare breeds and populations of poultry: the case of russian white chicken breed. *Ptitsevodstvo*. 2020;(7-8):5–10. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33845/0033-3239-2020-69-7-8-5-10

2. Stanishevskaya O. I., Fedorova E. S. Dosed exposure to low temperature as a breeding background in the selection of gene pool breeds of chickens for viral vaccines production. The Open Agriculture Journal. 2020;14:345–351. DOI: https://doi.org/10.2174/1874331502014010345

3. Chang C. C., Chow C. C., Tellier L. C., Vattikuti S., Purcell S. M., Lee J. J. Second-generation PLINK: rising to the challenge of larger and richer datasets. Gigascience. 2015;4(1):s13742-015-0047-8. DOI: https://doi.org/10.1186/s13742-015-0047-8

4. Purcell S., Neale B., Todd-Brown K., Thomas L., Ferreira M. A. R., Bender D., et. al. PLINK: A tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses. American Journal of Human Genetics. 2007;81(3):559–575. DOI: https://doi.org/10.1086/519795

5. Ceballos F. C., Joshi P. K., Clark D. W., Ramsay M., Wilson J. F. Runs of homozygosity: windows into population history and trait architecture. Nature Reviews Genetics. 2018;19(4):220–234. DOI: https://doi.org/10.1038/nrg.2017.109

6. Hu J., Bumstead N., Barrow P., Sebastiani G., Olien L., Morgan K., Malo D. Resistance to salmonellosis in the chicken is linked to *NRAMP1* and *TNC*. Genome Research. 1997;7:693–704. DOI: https://doi.org/10.1101/gr.7.7.693

7. Murdamoothoo D., Schwenzer A., Kant J., Rupp T., Marzeda A., Midwood K., Orend G. Investigating cell-type specific functions of tenascin-C. Methods in Cell Biology. 2018;143:401–428. DOI: https://doi.org/10.1016/bs.mcb.2017.08.023

8. Nawab A., An L., Wu J., Li G., Liu W., Zhao Y., Wu Q., Xiao M. Chicken toll-like receptors and their significance in immune response and disease resistance. International Reviews of Immunology. 2019;38(6):284–306. DOI: https://doi.org/10.1080/08830185.2019.1659258

9. St Paul M., Brisbin J. T., Abdul-Careem M. F., Sharif S. Immunostimulatory properties of Toll-like receptor ligands in chickens. Veterinary Immunology and Immunopathology. 2013;152(3-4):191–199. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2012.10.013

10. Zhuang Z. X., Chen S. E., Chen C. F., Lin E. C., Huang S. Y. Single-nucleotide polymorphisms in genes related to oxidative stress and ion channels in chickens are associated with semen quality and hormonal responses to thermal stress. The Journal of Thermal Biology. 2022;105:103220. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103220

11. Sánchez A. L. B., Wang Q., Thiam M., Wang Z., Zhang J., Zhang Q., et. al. Liver Transcriptome Response to Heat Stress in Beijing You Chickens and Guang Ming Broilers. Genes. 2022;13(3):416. DOI: https://doi.org/10.3390/genes13030416

12. Videla Rodriguez E. A., Mitchell J. B. O., Smith V. A. A Bayesian network structure learning approach to identify genes associated with stress in spleens of chickens. Scientific Reports. 2022;12(1):7482. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-022-11633-7

13. Cao Y., Zeng T., Han W., Ma X., Gu T., Chen L., et. al. Comparative analysis of liver transcriptome reveals adaptive responses to hypoxia environmental condition in Tibetan Chicken. Animal Biosciences. 2024;37(1):28–38. DOI: https://doi.org/10.5713/ab.23.0126

14. Hosono Y., Abe T., Ishiai M., Islam M. N., Arakawa H., Wang W., et. al. Tumor suppressor *RecQL5* controls recombination induced by DNA crosslinking agents. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular Cell Research. 2014;1843(5):1002–1012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2014.01.005

15. Xie L., Wang S., Xie Z., Wang X., Wan L., Deng X., et. al. Gallus *NME/NM23* nucleoside diphosphate kinase 2 interacts with viral σA and affects the replication of avian reovirus. Veterinary Microbiology. 2021;252:108926. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2020.108926

16. Zhang Y., Gou W., Zhang Y., Zhang H., Wu C. Insights into hypoxic adaptation in Tibetan chicken embryos from comparative proteomics. Comparative Biochemistry and Physiology – Part D: Genomics and Proteomics. 2019;31:100602. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cbd.2019.100602

17. Wu H., Zaib G., Luo H., Guo W., Wu T., Zhu Sh., et. al. *CCL4* participates in the reprogramming of glucose metabolism induced by ALV-J infection in chicken macrophages. Frontiers in Microbiology. 2023;14:1205143. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1205143

18. Schilling M. A., Katani R., Memari S., Cavanaugh M., Buza J., Radzio-Basu J., et. al. Transcriptional Innate Immune Response of the Developing Chicken Embryo to Newcastle Disease Virus Infection. Frontiers in Genetics. 2018;9:00061. DOI: https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00061

19. Thornberry N. A., Bull H. G., Calaycay J. R., Chapman K. T., Howard A. D., Kostura M. J. et. al. A novel heterodimeric cysteine protease is required for interleukin-1 beta processing in monocytes. Nature. 1992;356(6372):768–774. DOI: https://doi.org/10.1038/356768a0

20. Wang Y., Ning X., Gao P., Wu Sh., Sha M., Lv M., Zhou X., et.al. Inflammasome Activation Triggers Caspase-1-Mediated Cleavage *of cGAS* to Regulate Responses to DNA Virus Infection. Immunity. 2017;46(3):393–404. DOI: https://doi.org/10.1016/j.immuni.2017.02.011

21. Wu D., Zhang M., Xu J., Song E., Lv Y., Tang S., et.al. In vitro evaluation of aspirin-induced HspB1 against heat stress damage in chicken myocardial cells. Cell Stress and Chaperones. 2016;21(3):405–413. DOI: https://doi.org/10.1007/s12192-016-0666-8

22. Zhao H., Wu M., Tang X., Li Q., Yi X., Zhao W., Sun X. RNA-seq Based Transcriptome Analysis Reveals The Cross-Talk of Macrophage and Adipocyte of Chicken Subcutaneous Adipose Tissue during The Embryonic and Post-Hatch Period. Frontiers in Immunology. 2022;13:889439. DOI: https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.889439

23. Wang Q., Thiam M., Sánchez A. L. B., Wang Z., Zhang J., Li Q., Wen J., Zhao G. Gene Co-Expression Network Analysis Reveals the Hub Genes and Key Pathways Associated with Resistance to Salmonella Enteritidis Colonization in Chicken. International Journal of Molecular Sciences. 2023;24(5):4824. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms24054824

24. Bishop G. A., Warren W. D., Berton M. T. Signaling via major histocompatibility complex class II molecules and antigen receptors enhances the B cell response to *gp39/CD40* ligand. The European Journal of Immunology. 1995;25(5):1230–1238. DOI: https://doi.org/10.1002/eji.1830250515

25. Yu F., Raheem M. A., Tan Y., Rahim M. A., Zha L., Zhang J., et.al. Localization of Chicken *Rab22a* in Cells and Its Relationship to BF or Ii Molecules and Genes. Animals (Basel). 2023;13(3):387. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13030387

26. Castro P., Liang H., Liang J. C., Nagarajan L. A novel, evolutionarily conserved gene family with putative sequence-specific single-stranded DNA-binding activity. Genomics. 2002;80(1):78–85. DOI: https://doi.org/10.1006/geno.2002.6805

27. Станишевская О. И., Федорова Е. С. Сравнительная оценка стресс-реактивности организма кур пород русская белая с мутацией *sw+* и аморкс на гипотермию в эмбриональном и раннем постнатальном периодах онтогенеза. Сельскохозяйственная биология. 2019;54(6):1135–1143. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.6.1135rus EDN: JIVYWR

Stanishevskaya O. I., Fedorova E. S. Comparative evaluation of the peculiarities of stress reactivity of the Russian White breed chicken with sw+ mutation and Amrox in hypothermia conditions during embryonal and early postnatal periods of ontogenesis. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2019;54(6):1135–1143. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.6.1135rus

28. Федорова Е. С., Станишевская О. И. Оценка кур генофондных пород и промышленных линий по выходу вакцинного сырья их эмбрионов в сравнительном аспекте. Аграрная наука. 2021;(3):30–33. DOI: https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-346-3-30-33 EDN: OFNUOY

Fedorova E. S., Stanishevskaya O. I. Evaluation of chickens of gene pool breeds and commercial lines on the yield of vaccine raw materials of their embryos in a comparative aspect. *Agrarnaya nauka* = Agrarian Science. 2021;346(3):30–33. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-346-3-30-33

29. Федорова Е. С., Станишевская О. И. Сравнительная оценка эффективности использования различных пород кур в качестве продуцентов вакцинного сырья для производства гриппозных вакцин. Птицеводство. 2023;(9):13–16. DOI: https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-9-13-16 EDN: NKFUMG

Fedorova E. S., Stanishevskaya O. I. Comparative evaluation of developing embryos of different chicken breeds as raw materials for production of influenza vaccines. *Ptitsevodstvo*. 2023;(9):13–16. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-9-13-16

30. Huo S., Wang L., Zhang Y., Zhang J., Zuo Y., Xu J., Cui D., Li X., Zhong F. Molecular cloning of chicken *IL-7* and characterization of its antiviral activity against IBDV in vivo. Poultry Science. 2016;95(11):2647–2654. DOI: https://doi.org/10.3382/ps/pew251

31. Tan J., Ge J., Sahaer P., Li H., Sun H. Identification and functional analysis of circ*RIPK2* in lipopolysaccharide induced chicken macrophages. British Poultry Science. 2023;64(6):678–687. DOI: https://doi.org/10.1080/00071668.2023.2261870

32. Romanov M. N., Abdelmanova A. S., Fisinin V. I., Gladyr E. A., Volkova N. A., Koshkina O. A. et.al. Selective footprints and genes relevant to cold adaptation and other phenotypic traits are unscrambled in the genomes of divergently selected chicken breeds. Journal of Animal Science and Biotechnology. 2023;14(1):35. DOI: https://doi.org/10.1186/s40104-022-00813-0

33. Oliveira M., Rodrigues D. R., Guillory V., Kut E., Giotis E. S., Skinner M. A., et.al. Chicken *cGAS* Senses Fowlpox Virus Infection and Regulates Macrophage Effector Functions. Frontiers in Immunology. 2021;11:613079. DOI: https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.613079

34. Li S., Yang J., Zhu Y., Ji X., Wang K., Jiang S., et al. Chicken DNA Sensing cGAS-STING Signal Pathway Mediates Broad Spectrum Antiviral Functions. Vaccines. 2020;8(3):369. DOI: https://doi.org/10.3390/vaccines8030369

35. Fedorova E. S., Dementieva N. V., Shcherbakov Y. S., Stanishevskaya O. I. Identification of Key Candidate Genes in Runs of Homozygosity of the Genome of Two Chicken Breeds, Associated with Cold Adaptation. Biology (Basel). 2022;11(4):547. DOI: https://doi.org/10.3390/biology11040547

36. Fujimoto M., Nakai A. The heat shock factor family and adaptation to proteotoxic stress. FEBS Journal. 2010;277(20):4112–4125. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2010.07827.x

Сведения об авторах

✉ **Федорова Елена Сергеевна,** кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики, разведения и сохранения генетических ресурсов сельскохозяйственных птиц, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», д. 55а, Московское шоссе, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1618-6271,** e-mail: Osot2005@yandex.ru

Дементьева Наталия Викторовна, кандидат биол. наук, зав. лабораторией молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», д. 55а, Московское шоссе, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0210-9344**

Станишевская Ольга Игоревна, доктор биол. наук, зав. отделом генетики, разведения и сохранения генетических ресурсов сельскохозяйственных птиц, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», д. 55а, Московское шоссе, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9504-3916**

Рябова Анна Евгеньевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», д. 55а, Московское шоссе, п. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2362-2892**

Information about the authors

✉ **Elena S. Fedorova**, PhD in Biological Science, senior researcher, the Laboratory of genetics, breeding and conservation of genetic resources of farm birds, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Moscow highway, 55a, village Tyarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1618-6271**, e-mail: Osot2005@yandex.ru

Natalia V. Dementieva, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory of Molecular Genetics, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Moscow highway, 55a, village Tyarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0210-9344**

Olga I. Stanishevskaya, DSc in Biological Science, Head of the Laboratory of genetics, breeding and conservation of genetic resources of farm birds, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Moscow highway, 55a, village Tyarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9504-3916**

Anna E. Ryabova, junior researcher, the Laboratory of Molecular Genetics, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Moscow highway, 55a, village Tyarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2362-2892**

✉ – Для контактов / Corresponding author

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА/VETERINARY MEDICINE

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.920–929
УДК 576.53:636.033

(cc) BY

Биотестирование тетраполиэтиленгликолята титана в 10-мольном избытке на культуре клеток гранулезы свиней

© 2024. А. О. Притужалова[1]✉, Т. И. Кузьмина[1], Т. Г. Хонина[2], У. С. Никулина[1]

[1]*Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,*

[2]*ФГБУН Институт органического синтеза им. И. Я. Постовского Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация*

Оценен эффект воздействия тетраполиэтиленгликолята титана, растворенного в полиэтиленгликоле (соотношение 1:10) (сокращ. TTP_{EG}*10PEG) на клетки гранулезы (КГ) антральных овариальных фолликулов Sus scrofa domesticus в динамике культивирования in vitro. КГ, аспирированные из овариальных фолликулов (ø 3–5 мм) свиней, полученных post mortem на мясоперерабатывающем комбинате «Тосненский», культивировали без и в присутствии 0,1, 0,01 и 0,001 % TTP_{EG}*10PEG. Спустя 22 и 44 часа КГ анализировали методом проточной цитометрии. Комплексный анализ показателей жизнеспособности (митохондриальная активность, доля мертвых клеток) и генерации активных форм кислорода (АФК) в КГ после воздействия TTP_{EG}*10PEG выявил, что добавление в среду для культивирования 0,1 % TTP_{EG}*10PEG спустя 22 и 44 часа вызывает нарушения функциональной активности КГ, сопровождающиеся снижением митохондриального потенциала мембраны по сравнению с контролем (на 8 и 9 % соответственно, $p<0,05$) и клеточной гибелью (доля мертвых клеток составила 45 и 41 % соответственно, $p<0,001$). В группах, культивируемых в присутствии 0,01 и 0,001 % TTP_{EG}*10PEG, достоверных различий в уровне жизнеспособных КГ при культивировании как на 22, так и 44 часа не выявлено. При этом показано повышение митохондриальной активности в указанных группах в сравнении с контролем и группой, содержащей 0,1 % TTP_{EG}*10PEG (на 11 и 13 % соответственно через 22 часа, $p<0,001$ и на 15 и 27 % через 44 часа, $p<0,001$). Не обнаружено достоверных различий между исследуемыми группами в показателе генерации АФК в клетках. В целом, идентифицирован дозозависимый негативный эффект TTP_{EG}*10PEG (0,1 %). TTP_{EG}*10PEG в концентрации 0,01 и 0,001 % не оказал деструктивного влияния на исследуемую популяцию клеток, что свидетельствует о возможности использования TTP_{EG}*10PEG в вышеобозначенных концентрациях (0,01 и 0,001 %) для моделирования состава сред, используемых в системах культивирования гранулезных клеток свиней.

Ключевые слова: *глицерогели, цитотоксичность, культивирование, Sus scrofa domesticus, АФК, митохондриальная активность, жизнеспособность*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (тема № 124020200127-7).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Притужалова А. О., Кузьмина Т. И., Хонина Т. Г., Никулина У. С. Биотестирование тетраполиэтиленгликолята титана в 10-мольном избытке на культуре клеток гранулезы свиней. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):920–929. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.920-929

Поступила: 15.05.2024 Принята к публикации: 26.09.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Biotesting of titanium tetrapolyethylene glycolate in 10 molar excess on granulosa cell culture of porcine follicles

© 2024. Anna O. Prituzhalova[1]✉, Tatyana I. Kuzmina[1], Tatiana G. Khonina[2], Ulyana S. Nikulina[1]

[1]*All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Saint Petersburg, Russian Federation*

[2]*I. Ya. Postovsky Institute of Organic Synthesis of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation*

The effect of titanium tetrapolyethylene glycolate dissolved in polyethylene glycol (ratio 1:10) (abbreviated TTP_{EG}*10PEG) on granulosa cells (GC) of the antral ovarian follicles of Sus scrofa domesticus in the dynamics of in vitro culture was assessed. Granulosa cells aspirated from post mortem ovarian porcine follicles (ø 3-5 mm) obtained at the Tosnensky Meat Processing Plant, were cultured without and in the presence of 0.1, 0.01 and 0.001 % TTP_{EG}*10PEG. After 22 and 44 hours, the GC were analyzed by flow cytometry. A comprehensive analysis of viability indicators (mitochondrial activity, apoptosis), as well as the generation of reactive oxygen species (ROS) in the GC after exposure to TTP_{EG}*10PEG, revealed that the addition of 0.1 % TTP_{EG}*10PEG to the culture medium after 22 and 44 hours causes disturbances in the functional activity of the GC, accompanied by a decrease of mitochondrial membrane potential compared to control (by 8 and 9 %, respectively, $p<0.05$) and cell death (the proportion of cells in apoptosis was 45 and 41 %, respectively, $p<0.001$). In the groups cultured in the presence of 0.01 % and 0.001 % TTP_{EG}*10PEG, no significant differences in the level of GC in the state of apoptosis were detected when cultured for either 22 or 44 hours. At the same time, an increase in mitochondrial activity was shown in these groups in comparison with the control and the group containing 0.1 % TTP_{EG}*10PEG (by 11 and 13 %, respectively, after 22 hours, $p<0.001$ and by 15 and 27 % after 44 hours, $p< 0.001$). No significant differences were found between the study groups in the rate of ROS generation in cells. In general, a dose-dependent negative effect of TTP_{EG}*10PEG (0.1 %) was identified. TTP_{EG}*10PEG at concentrations of 0.01 and 0.001% did not have a destructive effect on the studied cell population, which indicates the possibility of using TTP_{EG}*10PEG at the above concentrations (0.01 and 0.001 %) to simulate the composition of media used in porcine granulosa cells culture systems.

Keywords: *glycerogels, cytotoxicity, cultivation, Sus Scrofa Domesticus, ROS, mitochondrial activity, viability*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (№ 124020200127-7).

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

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

For citations*:* Prituzhalova A. O., Kuzmina T. I., Khonina T. G., Nikulina U. S. Biotesting of titanium tetrapolyethylene glycolate in 10 molar excess on granulosa cell culture of porcine follicles. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):920–929. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.920-929

Received: 15.05.2024 Accepted for publication: 26.09.2024 Published online: 30.10.2024

Клетки гранулезы (КГ) свиней являются одним из важнейших структурных единиц овариальных фолликулов продуктивных животных, что обуславливает их использование в качестве дополнительного компонента при культивировании ооцитов *in vitro*. Гранулезные клетки продуцируют стероиды, синтезируют факторы роста, белки и сигнальные молекулы для передачи женской гамете. Благодаря этим функциям, клетки гранулезы опосредуют реинициацию мейоза ооцита и дальнейшее успешное приобретение ими компетентности к оплодотворению. Применение КГ в системе кокультивирования ооцитов *in vitro* является одним из эффективных методов повышения доли выхода женских гамет на стадии MII [1, 2]. Добавление новых синтезированных химических соединений может способствовать улучшению условий культивирования соматических и половых клеток в системе *in vitro*.

Тетраполиэтиленгликолят титана является прекурсором, который хорошо растворим в ПЭГ-400 и воде. Он не является индивидуальным веществом. Полиолаты титана аналогично полиолатам кремния склонны к реакциям межмолекулярной конденсации с выделением полиола и образованием олигомерных продуктов конденсации – олигоэфиров [3]. Избыток полиола в системе сдвигает равновесие реакции в сторону исходного соединения. При растворении полиэтиленгликолятов титана в большом количестве воды ($y > 1000$) происходит их быстрый обратимый гидролиз с выпадением осадка TiO_2 [4].

В наших экспериментах применяли тетраполиэтиленгликолят титана, растворенный

в полиэтиленгликоле (соотношение 1:10) (сокр. TTP_{EG}*10PEG), разработанный в ФГБУН Институте органического синтеза им. И. Я. Постовского УрО РАН. Тетраполиэтиленгликолят в настоящее время активно применяется в разработках гидрогелевых каркасов, является одним из лучших гомогенных биоматериалов, обладающих высокой биосовместимостью [5, 6]. Данное вещество активно используется в системе пролонгированной доставки лекарственных препаратов и способствует активному росту и пролиферативной активности клеток (мезенхимальные стволовые клетки) [7].

Активные формы кислорода (АФК) способны изменять функциональный статус клетки, переводя ее из гомеостатического в условия оксидативного стресса, вследствие чего может происходить изменение мембранного потенциала митохондрий, и, как следствие, инициируется процесс клеточной гибели в результате выхода цитохрома С в цитозоль и активацию каспазного пути [8]. Помимо этого, АФК посредством перекисного окисления липидов (ПОЛ) влияют на мембрану клеток, в результате чего нарушается ее целостность и текучесть [9, 10]. Вышесказанное вызывает необходимость контроля данных показателей в процессе культивирования клеток при воздействии *de novo* синтезированных химических соединений.

Цель исследования – оценить эффекты тетраполиэтиленгликолята титана, растворенного в полиэтиленгликоле (соотношение 1:10) (сокращ. TTP_{EG}*10PEG) на показатели жизнеспособности (доля мертвых клеток, митохондриальная активность) и генерацию активных форм кислорода клеток гранулезы антральных овариальных фолликулов *Sus scrofa domesticus* в динамике культивирования *in vitro*.

Научная новизна – впервые оценены и охарактеризованы эффекты TTP_{EG}*10PEG на показатели жизнеспособности и функциональной активности (митохондриальная активность, генерация АФК) клеток гранулезы овариальных фолликулов свиней, что позволило выявить его оптимальную концентрацию для включения в состав среды для пролонгированного культивирования и, в будущем, моделирования состава криопротекторных сред при витрификации ооцитов вида *Sus scrofa domesticus,* а также, в перспективе, для его возможного использования при модификации 3D систем культивирования женских гамет (капсулирование ооцитов) и клеток гранулезы.

Материал и методы. В экспериментах использовали *post mortem* яичники свиней, породы ландрас в возрасте 6 мес., транспортированные с мясокомбината «Тосненский» в течение 1 часа. Клетки гранулезы аспирировали из фолликулов диаметром 3–5 мм с высоким тургором и обширной сетью капилляров. Популяцию аспирированных клеток гранулезы подвергали отмывке от фолликулярной жидкости в фосфатно-солевом буфере (PBS) («ПанЭко», Россия), после чего разделили на 4 группы: контрольная – культивирование КГ проводили в среде ТС-199 с добавлением фетальной бычьей сыворотки (10 %) (Gibco, USA), 100х антибиотик-антимикотик (Gibco, USA) (содержащий в конечной концентрации 100 мкг/мл стрептомицина, 100 единиц/мл пенициллина и 0,25 мкг/мл амфотерицина В) при температуре 38,5 °С, с 5 %-ным содержании CO_2 в 24-луночных планшетах; 3 экспериментальные группы, культивируемые при тех же условиях добавляли 0.1, 0.01 и 0,001 % тетраполиэтиленгликолят титана, растворенного в полиэтиленгликоле (соотношение 1:10) (сокр. TTP_{EG}*10PEG) соответственно. Спустя 22 и 44 часа клетки гранулезы отделяли от культурального пластика обработкой 0,05%-го раствора трипсина-ЭДТА, промывали в PBS для дальнейшего цитологического анализа.

Для определения доли мертвых клеток применяли пропидия йодид (PI). Для этого клетки гранулезы дважды отмывали в PBS (при 1200 об./мин., 7 мин), для всех образцов доводили концентрацию клеток до $1*10^6$/мл, добавляли PI в рабочей концентрации 5 мкг/мл, образцы инкубировали 5–7 минут при 37 °С и анализировали методом проточной цитофлуориметрии.

Генерацию АФК в клетках анализировали с использованием флуоресцентного красителя 2',7'-дихлорфлуоресцеин диацетат (DCFH-DA). После отмывки КГ и разведения всех образцов до концентрации клеток $1*10^6$/мл в PBS к образцам добавляли DCFH-DA в рабочей концентрации 5 мкМ, инкубировали в течение 30 мин (t = 38,5 °С). Спустя обозначенное время, КГ отмывали от остатков красителя в PBS и анализировали с помощью проточной цитофлуориметрии. При анализе выделяли две популяции клеток – с высоким и низким содержанием пероксида водорода [11].

Митохондриальную активность клеток исследовали с помощью флуоресцентного красителя LumiTracker Mito Orange CMTMRos (Lumiprobe). К КГ после отмывки в PBS и разведения всех образцов до концентрации

$1*10^6$/мл добавляли краситель до конечной концентрации 100 нМ, инкубировали образцы в течение 30 мин при t = 38,5 °С. После этого клетки дважды отмывали от остатков флуорохрома посредством двухкратной отмывки в PBS и проводили анализ методом проточной цитофлуориметрии [12].

Все вышеуказанные цитологические анализы проводили с помощью проточного цитофлуориметра CytoFLEX (Beckman Coulter Life Sciences, USA).

Все использованные в исследовании реагенты, за исключением обозначенных, производства фирмы Sigma-Aldrich. Пластиковая лабораторная посуда фирмы BD Falcon™.

Эксперимент проводили в 5 повторностях, результаты исследования обрабатывали с помощью статистической программы Sigma Stat. Достоверность различия сравниваемых средних значений оценивали с помощью критерия x^2 Пирсона при трех уровнях значимости: P<0,05, P<0,01, P<0,001. На рисунке 1 представлена схема эксперимента.

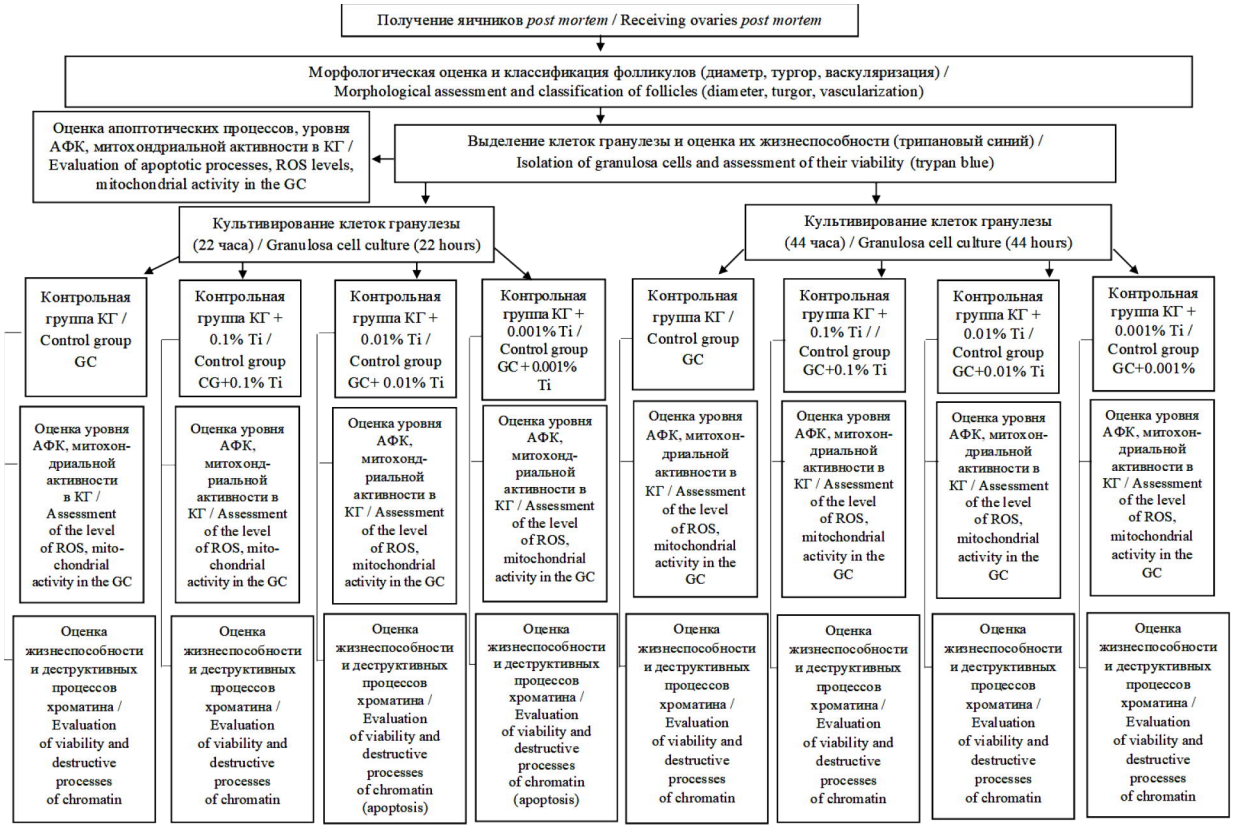


Рис. 1. **Схема эксперимента биотестирования тетраполиэтиленгликолята титана в 10-мольном избытке на культуре клеток гранулезы свиней /**

Fig. 1. **Experimental design for biotesting of titanium tetrapolyethyleneglycolate in 10-molar excess on a culture of pig granulosa cells**

Результаты и их обсуждение. Адгезивные и пролиферативные свойства клеток в процессе культивирования являются одним из возможных стартовых показателей оценки эффектов различных биологически активных веществ, в т. ч. и вновь синтезированных инновационных материалов на жизнеспособность и функциональную активность клеток различных биологических объектов. На рисунке 2 представлены изображения образцов клеток гранулезы в контрольной и экспериментальных средах в динамике культивирования (22 и 44 часа). Морфология клеток контрольной группы (рис. 2, А, Е) представлена умеренно вытянутой формой, наличием 2, 3 ламеллоподий, точечными локализациями на поверхности клеток мест прикрепления к культуральному пластику. Спустя 44 часа наблюдали монослой клеточной культуры с более вытянутой формой клеток.

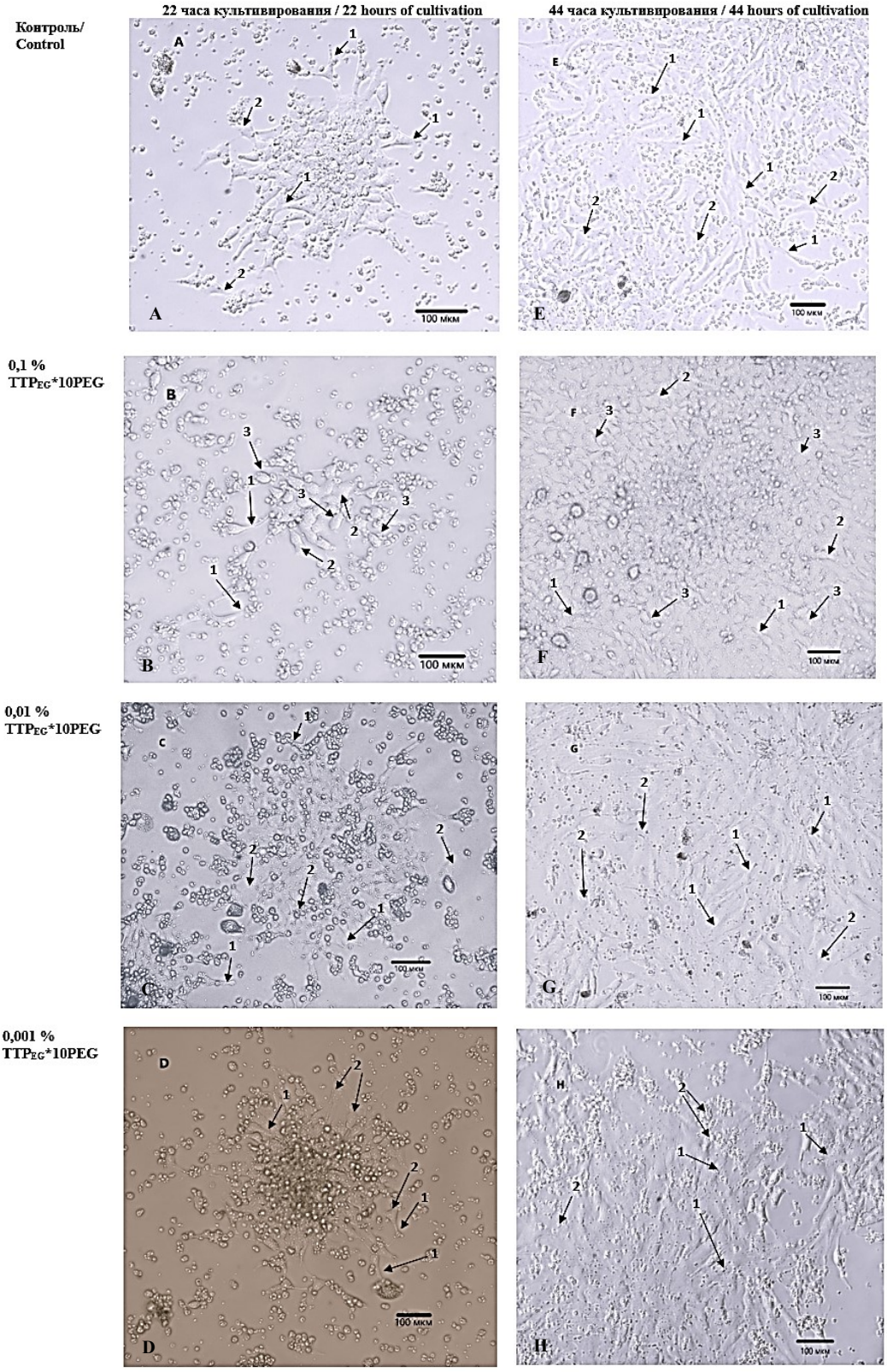


Рис. 2 **Репрезентативные изображения КГ *Sus scrofa domesticus* в контрольной среде и с TTP_{EG}*10PEG в различных концентрациях в динамике культивирования. Стрелка, циф. 1 – ламеллоподии клеток; Стрелка, циф. 2 – места прикрепления клеток к культуральному пластику; стрелка циф. 3 – округлые клетки со слабо выраженными или отсутствующими аллелоподиями, сниженной адгезивной способностью. (Микроскоп МИБ2-ФЛ, ЛОМО) /**

Fig. 2. **Representative images of GC *Sus scrofa domesticus* in control medium and with TTP_{EG}*10PEG at various concentrations during culture dynamics. Arrow, digital 1 – lamellipodia of cells; Arrow, digital 2 – places of cell attachment to culture plastic; digital arrow 3 – round cells with weakly expressed or absent allelopodia, reduced adhesive ability. (MIB2-FL microscope, LOMO)**

Клетки, выращенные в среде в присутствии 0,1 TTP_{EG}*10PEG % (рис. 2, B, F), более округлые, набухшие, ламеллоподии слабо выражены или отсутствуют, адгезивная способность снижена. Спустя 44 часа также отмечен монослой клеточной культуры, но морфология клеток не изменилась. В присутствии 0,01 % TTP_{EG}*10PEG (рис. 2, C, G) клетки также имели незначительно округлую форму, идентифицировались ламеллоподии, спустя 44 часа монослой имел высокие адгезивные свойства и четко выраженный межклеточный контакт. Добавление 0,001 % TTP_{EG}*10PEG (рис. 2, D, H) не вызывало морфологических изменений клеток, пролиферативная активность и адгезивные свойства были без существенных изменений и на уровне контрольной группы. При этом спустя 44 часа культивирования монослой клеток был плотно прикреплен к поверхности культурального пластика, клетки имели множество ламеллоподий и тесные межклеточные контакты.

Констатация клеточной гибели при воздействии различных исследуемых веществ является одним из основополагающих аспектов их проверки на цитотоксичность (рис. 3).

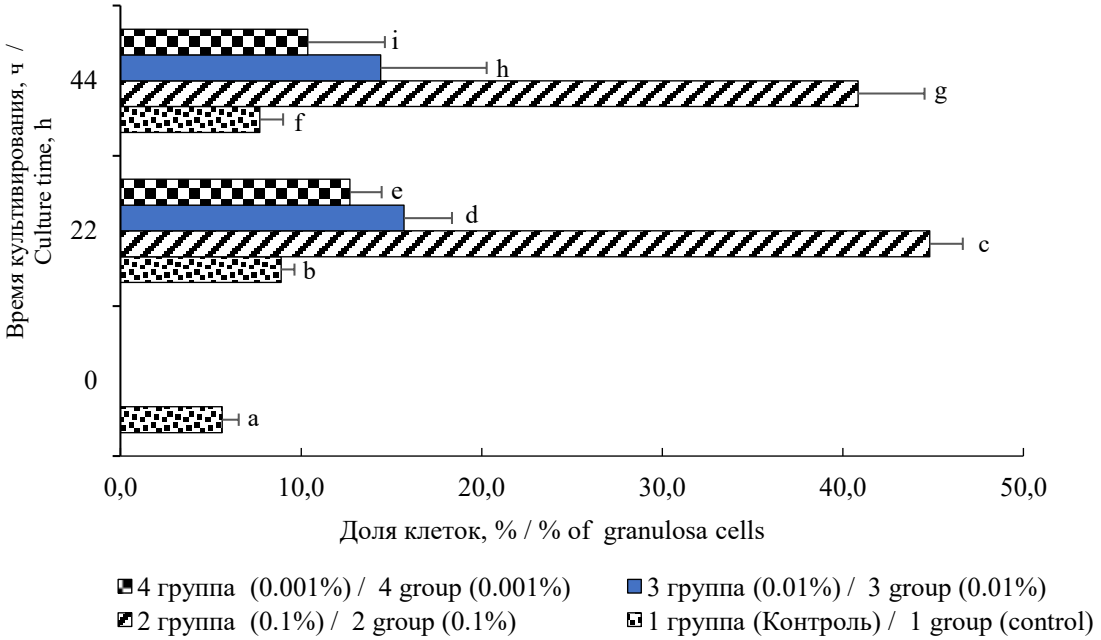


Рис. 3. **Жизнеспособность клеток гранулезы *Sus scrofa domesticus* в динамике культивирования с TTP_{EG}*10PEG через 22 и 44 часа.** $^{a:c; a:g; b:c; b:g; c:d; c:e; c:f; c:h; c:i; d:g; e:g; f:g; g:h; g:i}$ **– p<0,001;** $^{a:d; a:e; a:h}$ **– p<0,05 /**

Fig. 3. **Viability of granulosa cells of *Sus scrofa domesticus* in dynamics of culture with TTP_{EG}*10PEG after 22 and 44 hours.** $^{a:c; a:g; b:c; b:g; c:d; c:e; c:f; c:h; c:i; d:g; e:g; f:g; g:h; g:i}$ **– p<0.001;** $^{a:d; a:e; a:h}$ **– p<0.05**

В процессе культивирования спустя 22 часа в опытной группе с 0,1 % TTP_{EG}*10PEG обнаружен самый высокий процент мертвых клеток в сравнении с контролем (на 35 %, p<0,001) и другими опытными группами (на 29 и 32 %, содержащими 0,01 % и 0,001 % TTP_{EG}*10PEG соответственно, p<0,001). Добавление к исследуемым группам 0,01 % и 0,001 % TTP_{EG}*10PEG не выявило достоверных различий в доле апоптотических клеток в сравнении с контрольной группой как на 22 ч, так и на 44 ч культивирования.

При оценке клеток с повышенным содержанием внутриклеточных АФК не было выявлено достоверных различий между контрольной и исследуемыми группами в динамике культивирования Хотя и наблюдалась тенденция к снижению исследуемого показателя в опытных группах по сравнению с контролем, тенденция к снижению в некоторых экспериментальных группах через 44 часа культивирования в сравнении с популяцией клеток, проанализированных через 22 часа (рис. 4).

Несмотря на данные, не указывающие на различия в генерации КГ АФК, нами были выявлены отличия в активности митохондрий исследуемых групп в процессе их культивирования (рис. 5).

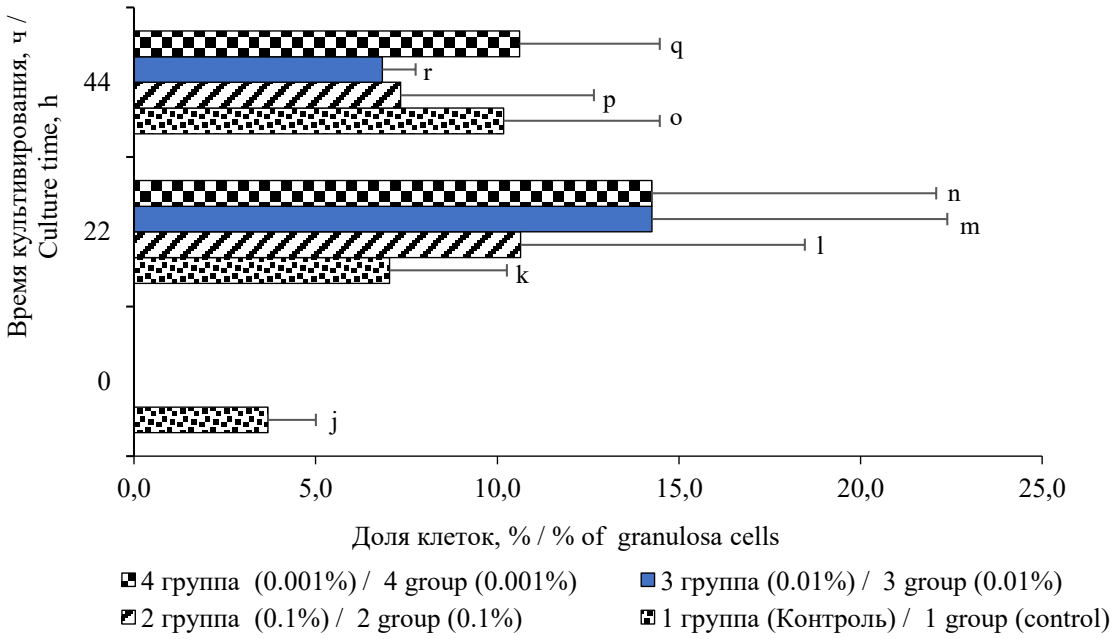


Рис. 4. **Содержание АФК в клетках гранулезы *Sus scrofa domesticus* при пролонгированном культивировании *in vitro* с TTP_{EG}*10PEG (22 и 44 ч).** *j:m; j:n; j:o j:r; k:q* **– p<0,01 /**

Fig. 4. **ROS content in granulosa cells of *Sus scrofa domesticus* during prolonged *in vitro* culture TTP_{EG}*10PEG (22 and 44 h).** *j:m; j:n; j:o j:r; k:q* **– p<0.01**

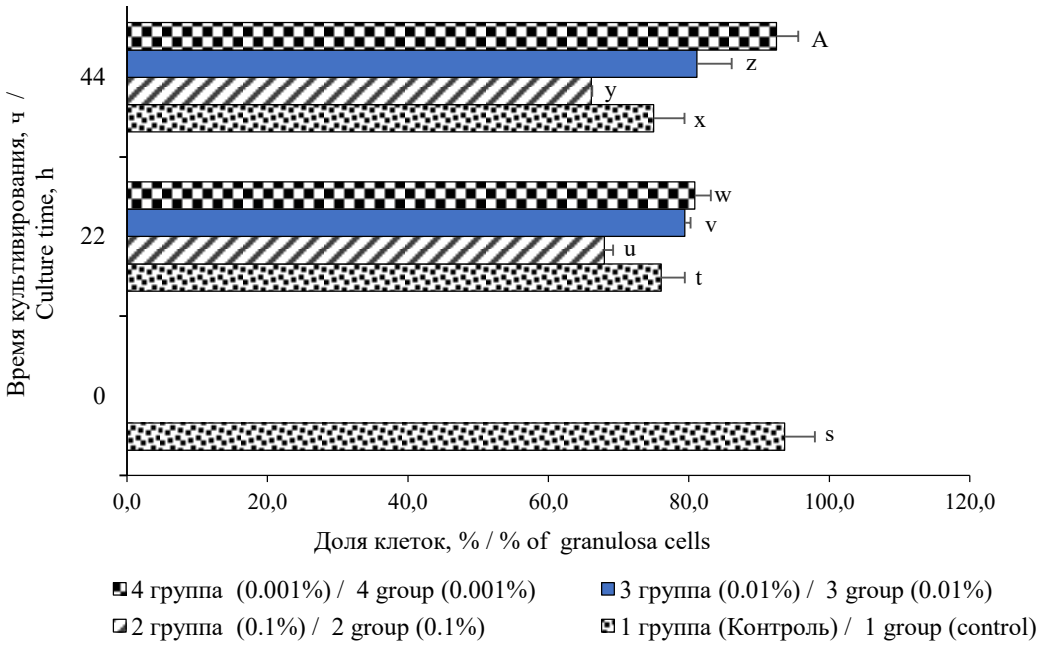


Рис. 5. **Митохондриальная активность клеток гранулезы *Sus scrofa domesticus* при культивирования *in vitro* с TTP_{EG}*10PEG (время культивирования 22 и 44 ч).** *s:w; s:z; t:u; t:A; x:y; x:A; z:A* **– p<0,05;** *s:t; s:x; t:y; u:x; u:z; v:A; w:A; y:z* **– p<0,01;** *s:u; s:v; s:y; u:v; u:w; u:A; v:y; w:y; y:A* **– p<0,001 /**

Fig. 5. **Mitochondrial activity of *Sus scrofa domesticus* granulosa cells during *in vitro* culture with TTP_{EG}*10PEG (cultivation time 22 and 44 h).** *s:w; s:z; t:u; t:A; x:y; x:A; z:A;* **– p<0.05;** *s:t; s:x; t:y; u:x; u:z; v:A; w:A; y:z* **– p<0.01;** *s:u; s:v; s:y; u:v; u:w; u:A; v:y; w:y; y:A* **– p<0.001**

Как показано на рисунке 5, доля КГ с высокой митохондриальной активностью, культивируемых в присутствии 0,1 % TTP_{EG}*10PEG был ниже на 8 % (p<0,05), чем в контрольной группе спустя 22 часа культивирования, почти не изменяя данное различие и на 44 часа (на 9 %, p<0,05). Также обнаружено, что группы КГ, культивируемые в присутствии 0,01 и 0,001 % TTP_{EG}*10PEG через 22 часа показали достоверно выше процент клеток с высокой митохондриальной активностью, чем с 0,1 % TTP_{EG}*10PEG (на 11 и 13 %

соответственно, p<0,001). При этом не выявлено достоверных различий в исследуемом показателе между контрольной и опытными группами, содержащими 0,01 и 0,001 % TTP_{EG}*10PEG через 22 часа. Однако, спустя 44 часа была выявлена достоверная разница между группой, содержащей 0,1 и 0,01 % TTP_{EG}*10PEG (на 15 %, p<0,01), группой, культивируемой в присутствии 0,1 % и 0,001 % TTP_{EG}*10PEG (на 27 %, p<0,001) и 0,01 и 0,001 % TTP_{EG}*10PEG (на 12 %, p<0,05). Также обнаружено, что в динамике культивирования группа, содержащаяся в 0,001 % TTP_{EG}*10PEG, показала достоверное повышение доли клеток с высокой митохондриальной активностью (на 11 %, p<0,01), тогда как у остальных исследуемых групп достоверных различий в процессе культивирования выявлено не было.

Биотестирование различных инновационных химически синтезированных веществ активно используется в области создания костных имплантов, новых методов адресной доставки лекарственных препаратов в структуры тканей и клеток, а также в области онкологии, биотехнологий и ветеринарии [13, 14, 15, 16]. Исследование получаемых веществ на цитотоксичность, а также выявление оптимальных концентраций для работы с ними является одним из начальных этапов перед дальнейшим их применением. В наших экспериментах мы определяли влияние прекурсора TTP_{EG} в 10-мольном избытке ПЭГ на морфологические изменения и показатели жизнеспособности КГ *Sus scrofa domesticus* в динамике культивирования *in vitro* (22 и 44 часа). В результате обнаружено, что добавление в среду для культивирования 0,1 % TTP_{EG}*10PEG спустя 22 и 44 часа провоцировало нарушения функциональной активности КГ, сопровождающиеся снижением митохондриального потенциала мембраны по сравнению с контролем (на 8 и 9 % соответственно, p<0,05) и клеточной гибелью (доля нежизнеспособных клеток составила 45 и 41 % соответственно, p<0,001). В группах, культивируемых в присутствии 0,01 и 0,001 % TTP_{EG}*10PEG не показано достоверных различий в показателях жизнеспособности КГ при культивировании как на 22, так и 44 часа. При этом было выявлено повышение митохондриальной активности в указанных группах в сравнении с контролем и группой, содержащей 0,1 % TTP_{EG}*10PEG (на 11 и 13 % соответственно через 22 часа, p<0,001 и на 15 и 27 % через 44 часа, p<0,001). Повышение митохондриальной активности в группе, содержащей 0,001 % TTP_{EG}*10PEG по нашему предположению может объясняться значительным разбавлением данного вещества в среде, что может повлечь за собой значительный гидролиз гидрогеля и распад PEGa и, как следствие, продукты гидролиза могли косвенно воздействовать на митохондриальную активность. Однако для более конкретных выводов необходимы дополнительные исследования.

На морфологию и показатели жизнеспособности соматических и половых клеток влияет химический состав веществ, используемых в системах их культивирования [17, 18]. Так, по данным ряда исследователей, при введении наночастиц серебра, они могут накапливаться в кумулюсных клетках свиней, тогда как частицы золота избирательно накапливаются в ооцитах и не имеют столь выраженного токсического эффекта [19]. В нашем случае выпадение осадка в виде TiO_2, возможно, оказывало негативное воздействие на клетки гранулезы в группе с 0,1 % TTP_{EG}*10PEG, что могло привести к клеточной гибели, тогда как гораздо меньшие концентрации (0,01 и 0,001 %) выраженной токсичности не показали. Эти данные согласуются с результатами других исследователей, показавших, что частицы TiO_2 в высоких концентрациях способны вызывать клеточную гибель [20]. Обнаруженные морфологические изменения КГ в присутствии 0,1 % TTP_{EG}*10PEG могут указывать на возможное изменение поверхности культурального пластика, вследствие чего проявляется низкая адгезивная способность клеток гранулезы или инкапсуляцию клетки указанным веществом или его производными в результате распада в культуральной среде [21]. В наших экспериментах не было выявлено достоверных различий между исследуемыми группами в показателях генерации АФК в клетках.

Заключение. При анализе воздействия тетраполиэтиленгликолят титана, растворенного в полиэтиленгликоле (соотношение 1:10) (сокращ TTP_{EG}*10PEG) на жизнеспособность (доля мертвых клеток, митохондриальная активность) и генерацию активных форм кислорода в клетках гранулезы *Sus scrofa domesticus* в системе культивирования *in vitro* был выявлен его дозозависимый негативный эффект в концентрации 0,1 % TTP_{EG}*10PEG. В концент-

рациях 0,01 и 0,001 % TTP_{EG}*10PEG не оказал цитотоксичного влияния на исследуемую популяцию клеток, что свидетельствует о возможности использования TTP_{EG}*10PEG в обозначенных выше концентрациях (0,01 и 0,001 %) для моделирования состава сред, используемых в системах культивирования гранулезных клеток свиней.

References

1. Кузьмина Т. И., Чистякова И. В., Притужалова А. О., Татарская Д. Н. Роль наночастиц высокодисперсного кремнезема в реализации эффектов гранулезы на компетентность к созреванию и оплодотворению ооцитов *Sus scrofa domesticus*. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022;26(3):234–239. DOI: https://doi.org/10.18699/VJGB-22-30 EDN: GYCTSQ

Kuzmina T. I., Chistyakova I. V., Prituzhalova A. O., Tatarskaya D. N. The role of highly dispersed silica nanoparticles in the realization of the effects of granulosa on the maturation and fertilization competence of *Sus scrofa domesticus*. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2022;26(3):234–239. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/VJGB-22-30

2. Кузьмина Т. И., Новичкова Д. А., Волкова Н. А. Моделирование систем созревания ооцитов свиней *in vitro*. Сельскохозяйственная биология. 2013;48(2):52–57. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2013.2.52rus EDN: PZAXND

Kuzmina T. I., Novichkova D. A., Volkova N. A. Modelling of maturation systems for porcine oocyte *in vitro*. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2013;48(2):52–57. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2013.2.52rus

3. Хонина Т. Г., Сафронов А. П., Иваненко М. В., Чупахин О. Н., Пушин В. Г. Полиэтиленгликоляты титана и гидрогели на их основе. Известия Академии наук. Серия химическая. 2014;(7):1639–1642. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22593634 EDN: TAKVJF

Khonina T. G., Safronov A. P., Ivanenko M. V., Chupakhin O. N., Pushin V. G. Titanium polyethylene glycolates and hydrogels on the basis of the glycolates. *Izvestiya Akademii nauk. Seriya khimicheskaya* = Russian Chemical Bulletin. 2014;(7):1639–1642. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22593634

4. Khonina T. G., Safronov A. P., Ivanenko M. V., Shadrina E. V., Chupakhin O. N. Features of silicon– and titanium–polyethylene glycol precursors in sol–gel synthesis of new hydrogels. Journal of Materials Chemistry B. 2015;3(27):5490–5500. DOI: https://doi.org/10.1039/c5tb00480b

5. Li D., Zhou J., Zhang M., Ma Y., Yang Y., Han X., Wang X. Long-term delivery of alendronate through an injectable tetra-PEG hydrogel to promote osteoporosis therapy. Biomaterials Science. 2020;8:3138–3146. DOI: https://doi.org/10.1039/d0bm00376j

6. Zhu T., Wang H., Jing Z., Fan D., Liu Z., Wang X., Tian Yu. High efficacy of tetra-PEG hydrogel sealants for sutureless dural closure. Bioactive Materials. 2022;8:12–19. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2021.06.022

7. Chang S., Li C., Xu N., Wang J., Jing Z., Cai H., Tian Y., Wang S., Liu Z., Wang X. A sustained release of alendronate from an injectable tetra-PEG hydrogel for efficient bone repair. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2022;10:961227. DOI: https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.961227

8. Villalpando-Rodriguez G. E., Gibson S. B. Reactive oxygen species (ROS) regulates different types of cell death by acting as a rheostat. Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2021;(1):9912436. DOI: https://doi.org/10.1155/2021/9912436

9. Rems L., Viano M., Kasimova M. A., Miklavčič D., Tarek M. The contribution of lipid peroxidation to membrane permeability in electropermeabilization: A molecular dynamics study. Bioelectrochemistry. 2019;125:46–57. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2018.07.018

10. Banerjee A., Chattopadhyay A., Bandyopadhyay D. Melatonin and biological membrane bilayers: a never ending amity. Melatonin Research. 2021;4(2): 232–252. DOI: https://doi.org/10.32794/mr11250093

11. Dikalov S., Harrison D. Methods for detection of mitochondrial and cellular reactive oxygen species. Antioxidants & Redox Signaling. 2014;20(2):372–382. DOI: https://doi.org/10.1089/ars.2012.4886

12. Carafa V., Russo R., Della Torre L., Cuomo F., Dell'Aversana C., Sarno F., et al. The Pan-Sirtuin Inhibitor MC2494 Regulates Mitochondrial Function in a Leukemia Cell Line. Frontiers in Oncology. 2020;10:00820. DOI: https://doi.org/10.3389/fonc.2020.00820

13. Okata S., Hoshina K., Hanada K., Kamata H., Fujisawa A., Yoshikawa Y., Sakai T. Hemostatic capability of a novel tetra-polyethylene glycol hydrogel. Annals of Vascular Surgery. 2022;84:398–404. DOI: https://doi.org/10.1016/j.avsg.2022.01.016

14. Buxadera-Palomero J., Calvo C., Torrent-Camarero S., Gil F. J., Mas-Moruno C., Canal C., Rodriguez D. Biofunctional polyethylene glycol coatings on titanium: an in vitro -based comparison of functionalization methods. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2017;152:367–375. DOI: https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2017.01.042

15. Чупахин О. Н., Хонина Т. Г., Кунгуров Н. В., Зильберберг Н. В., Евстигнеева Н. П., Кохан М. М., Полищук А. И., Шадрина Е. В., Ларченко Е. Ю., Ларионов Л. П., Карабаналов М. С. Кремнийборсодержащий глицерогидрогель, обладающий ранозаживляющей, регенерирующей и антимикробной активностью. Известия Академии наук. Серия химическая. 2017;(3):558–563. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28862630 EDN: YHPPZN

Chupakhin O. N., Khonina T. G., Kungurov N. V., Zilberberg N. V., Evstigneeva N. P., Kokhan M. M., Polishchuk A. I., Shadrina E. V., Larchenko E. Yu., Larionov L. P., Karabanalov M. S. Silicon–boron-containing glycerohydrogel having wound healing, regenerative, and antimicrobial activity. *Izvestiya Akademii nauk. Seriya khimicheskaya* = Russian Chemical Bulletin. 2017;(3):558–563. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28862630

16. Barkova A. S., Shurmanova E. I., Khonina T. G., Millstein I. M. Possibilities of using functional biologically active organosilicon compounds in veterinary practice. Agrarian Bulletin of the Urals. 2020;(11(202)):53–58. DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-202-11-53-58

17. Camaioni A., Massimiani M., Lacconi V., Magrini A., Salustri A., Sotiriou G. A., et al. Silica encapsulation of ZnO nanoparticles reduces their toxicity for cumulus cell-oocyte-complex expansion. Particle and Fibre Toxicology. 2021;18(1):33. DOI: https://doi.org/10.1186/s12989-021-00424-z

18. Lei R., Bai X., Chang Y., Li J., Qin Y., Chen K., et al. Effects of fullerenol nanoparticles on rat oocyte meiosis resumption. International Journal of Molecular Sciences. 2018;19(3):699. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms19030699

19. Tiedemann D., Taylor U., Rehbock C., Jakobi J., Klein S., Kues W. A., et al. Reprotoxicity of gold, silver, and gold-silver alloy nanoparticles on mammalian gametes. The Analyst. 2014;139(5):931–942. DOI: https://doi.org/https://doi.org/10.1039/c3an01463k

20. Minghui F., Ran S., Yuxue J., Minjia S. Toxic effects of titanium dioxide nanoparticles on reproduction in mammals. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2023;11:1183592. DOI: https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1183592

21. Groll J., Fiedler J., Engelhard E., Ameringer T., Tugulu S., Klok H. A., et al. A novel star PEG-derived surface coating for specific cell adhesion. Journal of Biomedical Materials Research. 2005;74A(4):607–617. DOI: https://doi.org/10.1002/jbm.a.30335

Сведения об авторах

✉ **Притужалова Анна Олеговна,** младший научный сотрудник лаборатории биологии развития, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», Московское шоссе, д. 55а, пос. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2865-9582,** e-mail: aklevakina14@mail.ru,

Кузьмина Татьяна Ивановна, доктор биол. наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией биологии развития, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», Московское шоссе, д. 55а, пос. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4218-6080**

Хонина Татьяна Григорьевна, доктор хим. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории органических материалов, ФГБУН Институт органического синтеза им. И. Я. Постовского Уральского отделения Российской академии наук, ул. Софьи Ковалевской, д. 22/20, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620108, e-mail: verbitsky@ios.uran.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8746-7046**

Никулина Ульяна Сергеевна, биолог лаборатории биологии развития, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», Московское шоссе, 55а, пос. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0000-2649-2590**

Information about the authors

✉ **Anna O. Prituzhalova,** junior researcher, the Laboratory of Developmental Biology, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Pushkin, Moscow highway, 55a, village Tyarlevo, St. Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2865-9582,** e-mail: aklevakina14@mail.ru

Tatyana I. Kuzmina, DSc in Biological Science, professor, chief researcher, Head of the Laboratory of Developmental Biology, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Pushkin, Moscow highway, 55a, village Tyarlevo, St. Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4218-6080**

Tatiana G. Khonina, DSc in Chemistry, senior researcher, leading researcher at the Laboratory of Organic Materials, I. Ya. Postovsky Institute of Organic Synthesis of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, st. Sofia Kovalevskaya, 22/20, Ekaterinburg, Russian Federation, 620108, e-mail: verbitsky@ios.uran.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8746-7046**

Ulyana S. Nikulina, biologist, the Laboratory of Developmental Biology, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Pushkin, Moscow highway, 55a, village Tyarlevo, St. Petersburg, Russian Federation, 196625, e-mail: spbvniigen@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0009-0000-2649-2590**

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.930–937
УДК 631.354:631.361.4

(cc) BY

Определение оптимальных конструктивно-технологических параметров работы клеверотерки-скарификатора КС-0,3П в режиме вытирания

© 2024. А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин ✉, В. Ю. Мокиев
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Приведены конструктивные особенности устройства и процесса работы новой клеверотерки-скарификатора КС-0,3П при вытирании семян из пыжины клевера лугового. По сравнению с аналогом КС-0,2 новая клеверотерка имеет увеличенные диаметр барабана 0,45 м и деку 0,7 м, дополнительно снабжена пневмосепарирующим устройством, что способствует повышению производительности на 25…30 %. Цель исследования – изучение влияния частоты вращения барабана клеверотерки-скарификатора КС-0,3П и подачи исходного материала на качество вытирания семян, определение диапазона их оптимальных значений при обеспечении агротехнических требований. При проведении экспериментальных исследований исходным материалом служила пыжина клевера лугового, полученная после очистки от легких, крупных, мелких примесей и свободных от оболочек семян на воздушно-решетной семяочистительной машине. Качество работы клеверотерки-скарификатора оценивали двумя показателями – степенью вытирания и дроблением семян. Подачу пыжины изменяли в пределах от 0,3 до 0,5 т/ч. Частоту вращения барабана варьировали от 700 до 800 мин$^{-1}$. Опыты проводили в трехкратной повторности. Получены адекватные (с вероятностью p = 0,95) регрессионные модели степени вытирания и дробления семян, анализ которых позволил определить диапазоны оптимальной частоты вращения барабана 775…800 мин$^{-1}$ и подачи материала 0,48…0,50 т/ч, обеспечивающих заданные агротехнические показатели: степень вытирания не менее 95 %; дробление – не более 1,5 %.

Ключевые слова: *пыжина, вытирание семян клевера, частота вращения барабана, подача материала*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0002).
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А., Мокиев В. Ю. Определение оптимальных конструктивно-технологических параметров работы клеверотерки-скарификатора КС-0,3П в режиме вытирания. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):930–937. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.930-937

Поступила: 14.02.2024 Принята к публикации: 09.10.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Determination of optimal design and technological parameters of the operation of the KS-0.3P clover grater and scarifier in the wiping mode

© 2024. Aleksandr I. Burkov, Andrei L. Glushkov, Victor A. Lazukin ✉, Valentin Yu. Mokiev
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The design features of the device and the process of operation of the new KS-0.3P clover grater and scarifier when wiping seeds from a bunch of meadow clover pad are provided in the article. Compared with the analogue KS-0.2, the new clover grater has an increased drum diameter of 0.45 m and a deck of 0.7 m and is additionally equipped with a pneumatic separation device, which contributes to an increase in productivity by 25...30 %. The purpose of the research is to study the effect of the drum rotation frequency of the KC–0.3P clover grater and scarifier and the feed of the starting material on the quality of seed wiping, to determine the range of their optimal values when agrotechnical requirements are met. During the experimental research the starting material was meadow clover wad obtained after having been cleaned of light, large, small impurities and seeds free from shells using an air sieve seed cleaning machine. The quality of the clover grater and scarifier was evaluated by two indicators - the degree of wiping and crushing of seeds. The supply of clover wad was regulated in the range from 0.3 to 0.5 t/h. The rotation frequency of the drum was changed from 700 to 800 min^{-1}. The experiments were carried out three times. Adequate (with probability p = 0.95) regression models of the degree of wiping and crushing of seeds were

obtained, the analysis of which let to determine the ranges of the optimal drum rotation speed of 775...800 min^{-1} and material supply of 0.48...0.50 t/h, when the specified agrotechnical indicators were provided: the degree of wiping not less than 95 % and crushing not more than 1.5 %.

Keywords: *clover wad, wiping of clover seeds, drum rotation speed, material supply*

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).

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

***For citation*:** Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazukin V. A., Mokiev V. Yu. Determination of the optimal design and technological parameters of the operation of the KS-0.3P clover grater and scarifier in the wiping mode. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):930–937. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.930-937

Received: 14.02.2024 Accepted for publication: 09.10.2024 Published online: 30.10.2024

Многолетние травы играют важную роль в сельском хозяйстве, предоставляя ценный источник питания для животных и способствуя сохранению почвенного плодородия [1, 2, 3]. Они используются в формировании кормовой базы для сельскохозяйственных животных, являясь основным компонентом в рационе крупного рогатого скота, который отличается высоким содержанием переваримого протеина [4]. Кроме того, имеют большое значение в предотвращении эрозии почвы как ветровой, так и водной, а также помогают сохранять питательные вещества в почве [5, 6]. Клевер луговой является одним из наиболее распространенных в Нечерноземной зоне, для успешного травосеяния которого необходимо производство качественных семян и в достаточном количестве [7].

В нашей стране и за рубежом существует производство клеверотерок различных типов, которые используются для получения семян многолетних трав. Некоторые из них, такие как МР-2, К-0,5[1], К-0,7[2], К-310[3] и МВС-05.000[4] получили широкое распространение. ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого» (ФАНЦ Северо-Востока) разработало несколько клеверотерок, предназначенных для обработки и очистки семян клевера. Среди этих моделей можно выделить КС-1,0, К-0,3А, КПЛ-100 и КС-0,2, каждая из которых обладает своей особой конструкцией и производительностью[5]. Одной из ключевых особенностей некоторых моделей клеверотерок является наличие пневмосепарирующих устройств.

Особенно эффективными являются клеверотерки с барабанным терочным устройством, оснащенным тангенциальной подачей семян. В ФАНЦ Северо-Востока в настоящее время проводятся исследования по модернизации клеверотерки-скарификатора КС-0,2. Новая клеверотерка К-0,3П имеет увеличенные размеры диаметра барабана до 0,45 м и длину деки до 0,7 м, что повышает производительность на 25…30 %. Дека снабжена скарифицирующими пластинами, позволяющими использовать новую клеверотерку на двух технологических операциях – вытирании семян бобовых трав и скарификации семян, имеющих твердую оболочку. Кроме того, для повышения эффективности очистки семян от легких примесей данная клеверотерка снабжена пневмосепарирующим устройством, включающим пневмосепарирующий канал (ПСК) [8], циклон и тканевый пылеуловитель.

Экспериментальными исследованиями [9] обоснованы основные конструктивные параметры пневмосепарирующего устройства при подаче исходного материала 300 кг/ч: угол наклона скатной доски – 45°, глубина ПСК – 0,09 м. При данных параметрах эффект очистки легких примесей составил 75,2 % при потерях семян в отходы согласно агротехническим требованиям (не более 2,0 %).

Разработка клеверотерки с ПСК, способной эффективно очищать вытертую пыжину от легких примесей, помогает улучшить чистоту семян и повысить эффективность процесса производства. Это важный шаг в обеспечении устойчивого развития сельского хозяйства и поддержании кормовой базы животноводства.

[1]Клеверотерка К-0,5. Техника в сельском хозяйстве. 1978;(4):64–66.
[2]Клеверотерка К-0,7. Научно-практический центр национальной академии наук Белоруссии по механизации сельского хозяйства. [Электронный ресурс]. URL: https://belagromech.by/news/kleveroterka-k-0-7/ (дата обращения: 25.04.2018).
[3]Инструкция по обслуживанию семятерки для мелких семян трав К-310А. Германия, 1983. 28 с.
[4]Машина для вытирания из коробочек семян мелкосемянных культур МВС-05.000 "Воронежсельмаш". [Электронный ресурс]. URL: http://vselmash.ru/zo/newsite/fixed_cleaning_equipm.html (дата обращения: 25.04.2018).
[5]Реомендации по применению новых высокоэффективных клеверотёрок. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2016. 52 с.

Цель исследования – изучение влияния частоты вращения барабана новой клеверотерки-скарификатора КС-0,3П и подачи исходного материала на качество вытирания семян, определение диапазона их оптимальных значений для обеспечения эффективной работы машины.

Научная новизна – определены оптимальные значения подачи и частоты вращения барабана клеверотерки, обеспечивающие требуемые показатели качества: степень вытирания не менее 95 %; дробление – не более 1,5 %.

Материал и методы. В ФАНЦ Северо-Востока проведены экспериментальные исследования опытного образца клеверотерки-скарификатора КС-0,3П (рис. 1).



Рис. 1. **Клеверотерка-скарификатор КС-0,3П (общий вид) /**
Fig. 1. **Clover grater and scarifier KS-0.3P (general view)**

Для оценки качества работы использовали два показателя: степень вытирания ε семян и дробление d семян, которые были определены согласно ГОСТ 12038-84[6], ГОСТ 12036-85[7] и новой разработанной методике[8].

Для проведения исследований использована пыжина клевера сорта Кировский 159 с влажностью 12–14 %. Перед началом исследования пыжину предварительно очищали, из нее удаляли свободные семена и примеси. Дальнейшая обработка пыжины клевера производилась на клеверотерке-скарификаторе КС-0,3П. Исходный материал загружается в бункер 6 (рис. 2). Затем, с помощью ворошилки 7, гибкой виброзаслонки 8 и питающего валика 9 материал подается в загрузочную горловину 10, из которой попадает в рабочее пространство (молотильный зазор) между декой 12 и барабаном 11. При вращении барабана происходит вытирание семян, то есть извлечение их из оболочки. Обработанный материал, состоящий из вытертых семян, разрушенных семенников, тяжелых и легких примесей, а также пыли, выходит через выходной патрубок 4 и загрузочное окно 14 и поступает в вертикальный ПСК 15. В вертикальном ПСК материал очищается от разрушенных оболочек семян и пыли воздушным потоком, создаваемым вентилятором циклона 3. Очищенный материал направляется в приемник I, а легкие примеси осаждаются в циклоне. Воздушный поток с пылью из циклона движется по воздухоотводящему каналу в пылеулавливающее устройство 1, где пыль улавливается с помощью тканевого фильтра. Легкие примеси собираются в приемнике II, пыль – в приемнике III.

[6]ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Изд-во стандартов, 1991. 29 с. URL: https://docs/cntd.ru/document/1200023365
[7]ГОСТ 12036-85. Семена сельскохозяйственных культур. Правила приемки и методы отбора проб. М.: Изд-во стандартов, 2011. 13 с. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200023361
[8]Бурков А. И., Симонов М. В., Машковцев М. Ф. Способ определения показателей качества работы клеверотерок: пат. № 2425483 Росийская Федерация. № 2009134376/21: заявл. 14.09.2009; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 22. 3 с. URL: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet

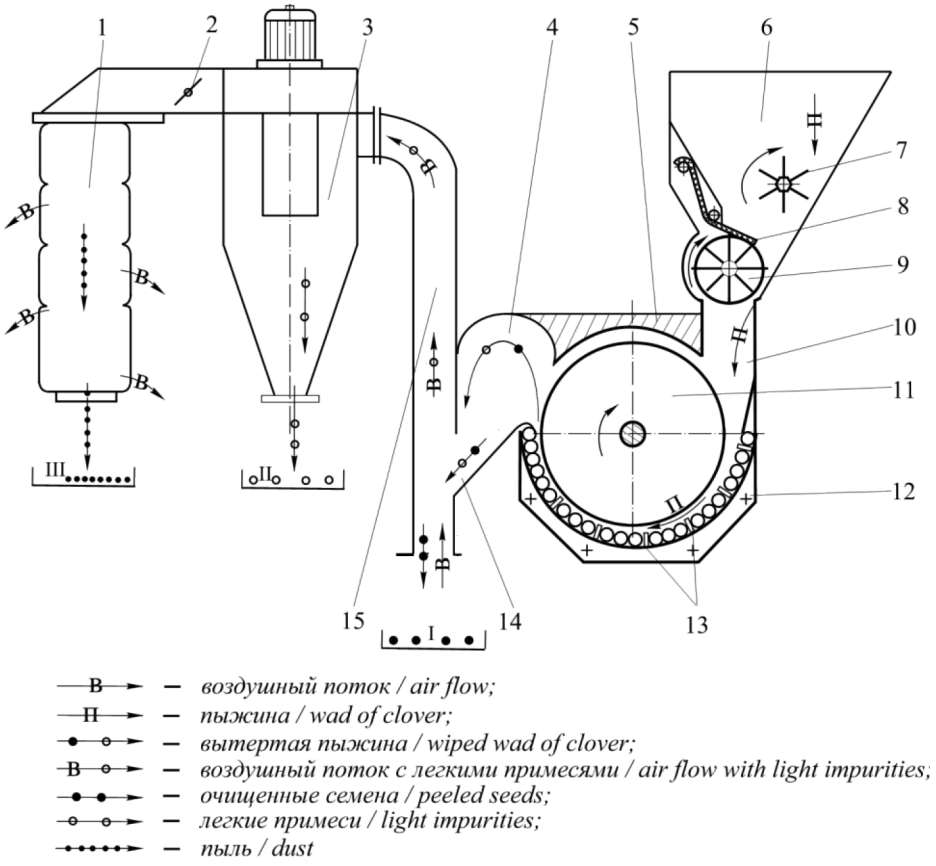


Рис. 2. **Технологическая схема клеверотёрки-скарификатора КС-0,3П: 1 – пылеулавливающее устройство; 2 – дроссельная заслонка; 3 – циклон с электровентилятором; 4 – выходной патрубок; 5 – корпус; 6 – приемный бункер; 7 – ворошилка; 8 – гибкая виброзаслонка; 9 – лопастной питающий валик; 10 – загрузочная горловина; 11 – барабан со сплошной энтгранерной поверхностью; 12 – дека с овальной поверхностью; 13 – скарифицирующие пластины; 14 – загрузочное окно; 15 – вертикальный пневмосепарирующий канал; I, II, III – приемники соответственно обработанных семян, легких примесей и пыли /**

Fig. 2. **Technological scheme of the clover grater and scarifier KS-0.3P: 1 – dust collecting device; 2 – throttle valve; 3- cyclone with fan; 4 – outlet pipe; 5 – housing; 6 – receiving hopper; 7 – agitator; 8 – flexible vibration flap; 9 – feeding roller with plates; 10 – loading neck; 11 – drum with a continuous entgranner surface; 12 – deck with oval surface; 13 – scarifing plates; 14 – loading window; 15 – vertical pneumatic separation channel; I, II, III – receivers respectively of treated seeds, light impurities and dust**

Оценивали работу по следующей методике. Устанавливали требуемую частоту вращения барабана 11, взвешивали и загружали материал в бункер, затем включали клеверотерку. Виброзаслонкой 8 настраивали подачу материала и производили замер времени рабочего процесса. При проведении опытов зазоры между барабаном и декой оставались одинаковыми – на входе 6 мм, на выходе – 3 мм.

Степень вытирания ε и дробление d семян определяли согласно методике, схема которой представлена на рисунке 3. После процедуры вытирания, согласно ГОСТ 12036-85, из полученного вороха отбирали среднюю пробу (Ф0) и делили ее на две фракции – крупную (Ф2) и мелкую (Ф1) с помощью решета с круглыми отверстиями Ø2 мм. Для удаления легких примесей из мелкой фракции Ф1 и определения массы $m_{вс}$ вытертых семян (фракция Ф3) в пробе Ф0 использовали пневмоклассификатор К-293. Скорость воздушного потока в пневмоклассификаторе устанавливали по началу выноса семян в отход. После удаления легких примесей и объединения их с семенами, полученная смесь представляла собой фракцию Ф1.

Согласно ГОСТ 12036-85, для проведения исследования брали среднюю пробу из фракции Ф1. С помощью метода разбора выделяли дробленые семена и затем определяли их массу во фракции Ф4. После этого производили пересчет массы дробленых семян на массу фракции Ф1 и получали массу дробленых семян ($m_{дс}$) в пробе Ф0.

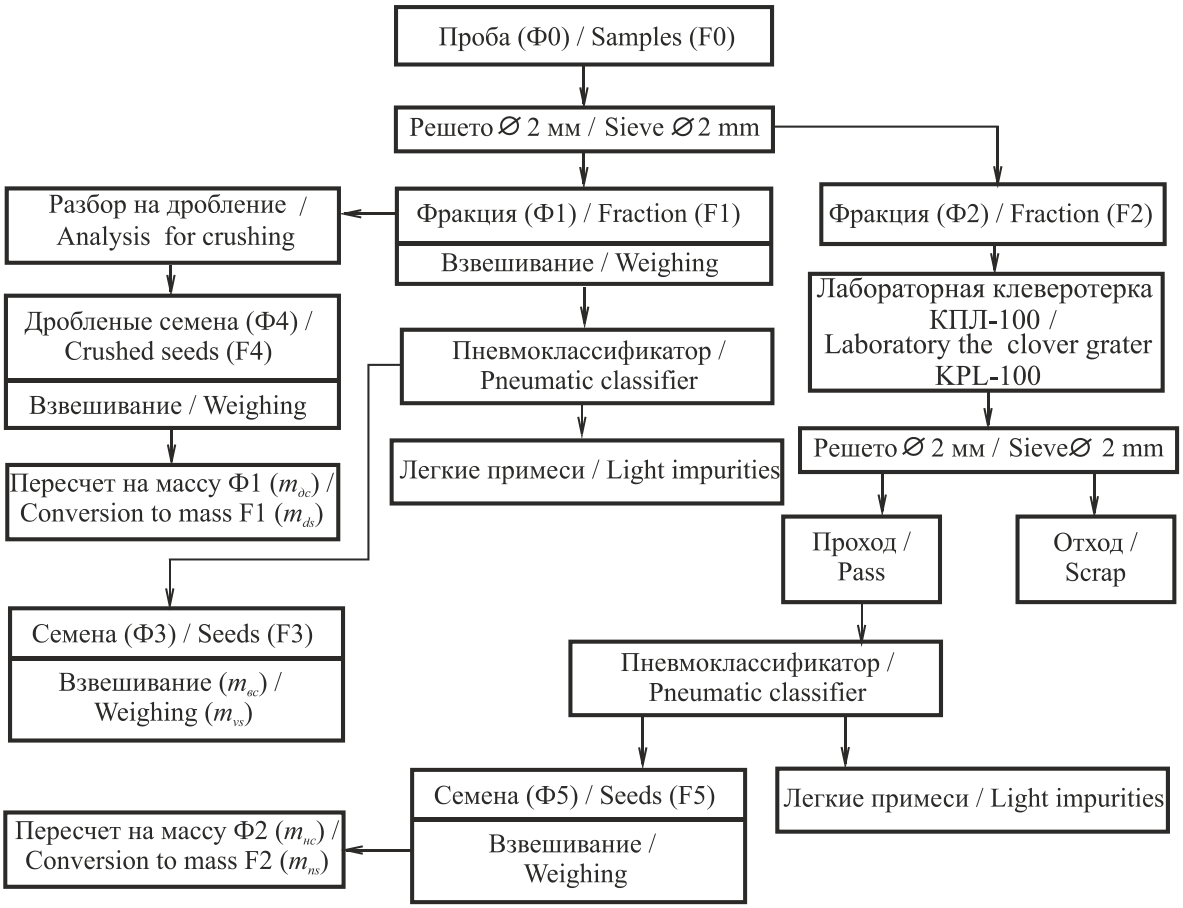


Рис. 3. **Схема методики определения показателей качества работы устройств для вытирания семян трав /**
Fig. 3. **Scheme of the methodology for determining the quality indicators of devices for wiping grass seeds**

Для анализа крупной % ции Ф2 по ГОСТ 12036-85 брали средню.. ..бу, которую перетирали на лабораторной клеверотерке КПЛ-100[9], затем просеивали через решето. Разделенный на решете материал представлял из себя две фракции: сход – неиспользуемые отходы; проход – материал, поступающий на пневмоклассификатор для выделения из него легких примесей. Пропущенный материал (фракция Ф5) взвешивали и производили пересчет массы фракции Ф5 на массу фракции Ф2. На последнем этапе определяли массу ($m_{нс}$) не вытертых семян в пробе Ф0.

В результате получили массу вытертых $m_{вс}$ и дробленых $m_{дс}$ семян в исходном материале.

Расчет степени вытирания ε и дробления d семян выполняли по формулам:

$$\varepsilon = \frac{m_{вс} + m_{дс}}{m_{вс} + m_{дс} + m_{нс}} \cdot 100\%, \qquad (1)$$

$$d = \frac{m_{дс}}{m_{вс} + m_{дс}} \cdot 100\%. \qquad (2)$$

Результаты и их обсуждение. Однофакторными экспериментами установлены главные факторы, влияющие на степень вытирания и дробление семян – частота вращения барабана и подача исходного материала. Поэтому для дальнейшего исследования принят и осуществлен план полнофакторного эксперимента второго порядка, включающий два фактора. Данный эксперимент является инструментом для изучения взаимодействия между факторами и их влияния на исследуемый процесс. Результаты эксперимента помогут определить оптимальные значения факторов, которые максимизируют желаемый результат [10, 11].

По результатам предыдущих экспериментальных исследований была выбрана область рациональных значений факторов, определены уровни и интервалы их варьирования (табл.).

[9]Симонов М. В., Конышев Н. Л. Клеверотерка КПЛ-100. Сельский механизатор. 2012;(6):14.

Таблица – **Факторы, уровни и интервалы их варьирования при реализации плана эксперимента** / *Table* – **Factors, levels and intervals of their variation in the implementation of the experiment plan**

Кодированное обозначение факторов / Coded designation of factors	*Название факторов, их обозначение и единица измерения / The name of the factors, their designation and unit of measurement*	*Уровни факторов / Factor levels*			*Интервалы варьирования / Variation intervals*
		-1	0	1	
x_1	Частота $n_б$ вращения барабана, мин$^{-1}$ / Drum rotation speed n_b, min^{-1}	700	750	800	50
x_2	Подача q исходного материала, т/ч / Feed q of the source material, t/h	0,3	0,4	0,5	0,1

После реализации опытов и обработки результатов эксперимента получены адекватные (вероятность p = 0,95) регрессионные модели степени вытирания ε и дробление d семян (%):

$$\varepsilon = 94{,}09 + 1{,}0x_1 - 0{,}83x_1^2 + \\ + 0{,}53x_1x_2 + 0{,}42x_2^2; \quad (3)$$

$$d = 0{,}97 + 1{,}0x_1 - 1{,}12x_2 + 0{,}3x_1^2 - \\ - 0{,}88x_1x_2 + 0{,}55x_2^2. \quad (4)$$

Из рисунка 4 следует, что при различных значениях подач q повышение частоты вращения барабана приводит к увеличению степени вытирания ε и дробления d семян. Так, например, при изменении частоты от 700 до 750 мин$^{-1}$ (при значении q = 0,4 т/ч), степень вытирания ε возрастает с 92,3 до 94,1 %, а дробление d увеличивается с 0,3 до 1,0 %.

Это объясняется увеличением ударного воздействия вытирающих элементов терочной поверхности и повышением скорости движения материала по деке машины, что приводит к увеличению вероятности взаимодействия частиц материала с рабочими органами клеверотерки и изменению величины силы удара и сжатия.

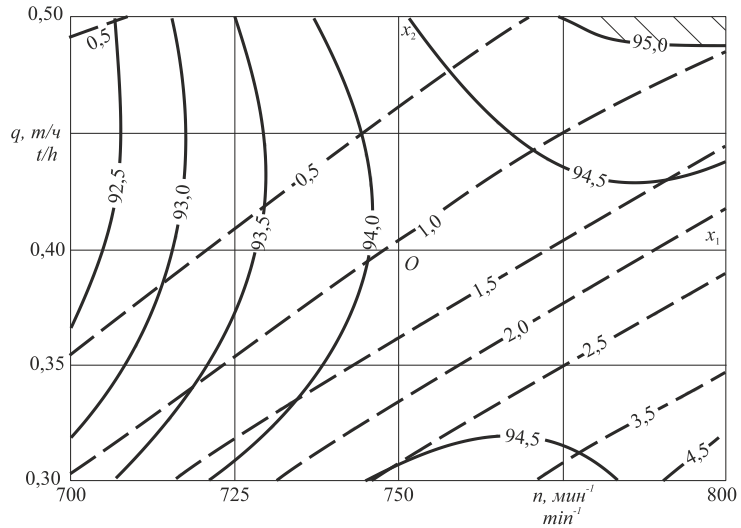


Рис. 4. **Линии равных значений степени ε вытирания (——) и дробление d (- - - - -) семян при различных нагрузочно-скоростных режимах работы клеверотерки-скарификатора КС-0,3П; ▨ – область значений факторов, в которой обеспечивается степень ε вытирания более 95 % при дроблении d семян не более 1,5 % /**

Fig. 4. **Lines of equal values of the degree of ε wiping (——) and crushing d (- - - - -) of seeds at various load-speed modes of operation of the clover grater and scarifier KS-0.3P; ▨ – the range of values of factors in which the degree of e wiping is ensured by at more than 95 % when crushing d seeds of less than 1.5 %**

Подача исходного материала в терочное устройство оказывает незначительное влияние на степень вытирания во всем диапазоне частот вращения барабана от 700 до 800 мин$^{-1}$. При этом с увеличением подачи q исходного материала происходит снижение дробления семян почти во всем диапазоне изменения частоты n вращения. Например, при увеличении подачи q с 0,3 до 0,5 т/ч при n = 800 мин$^{-1}$ дробление семян снижается с 4,8 до 0,8 %. Причем степень вытирания снизилась всего на 0,6 % – с 95,8 до 95,2 %. Это связано с уменьшением вероятности удара бичами по вытертым семенам. Анализируя рисунок 4 и учитывая агротех-

нические требования, предъявляемые к работе клеверотерки (степень вытирания не менее 95,0 % при дроблении семян не более 1,5 %), можно сделать вывод, что оптимальный диапазон значений подачи материала q = 0,48…0,50 т/ч и частоты вращения барабана n = 775…800 мин$^{-1}$. В данном диапазоне степень вытирания составит ε = 94,5…95,8%, дробление d = 0,6…1,1 %.

Заключение. Проведены исследования работы клеверотерки-скарификатора КС-0,3П при вытирании семян клевера лугового, определены диапазоны оптимальной частоты вращения барабана 775…800 мин$^{-1}$ и подачи материала 0,48…0,50 т/ч при обеспечении заданных агротехнических показателей – не менее 95,0 % степень скарификации и не более 1,5 % – дробление.

Список литературы

1. Киселев Н. П., Кормщиков А. Д., Никифорова Е. В., Прозорова И. Н., Прозоров В. А., Киселев С. Н. Вятские клевера. Киров: ГИПП "Вятка", 1995. 276 с.

2. Новоселов Ю. К., Шпаков А. С., Харьков Г. Д. Полевое кормопроизводство как фактор стабилизации кормовой базы и биологизации земледелия. Кормопроизводство России: сб. научн. тр. М.: ВИК, 1997. С. 30–42.

3. Фигурин В. А. Выращивание многолетних трав на корм. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2013. 188 с.

4. Bozhanska T., Churkova B. Correlation and regression relationships between quantitative and qualitative indicators of perennial grass and legume mixtures. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020;26(3):567–573. URL: https://agrojournal.org/26/03-11.pdf

5. Kosolapov V. M., Kostenko S. I., Tyurin Yu. S., Shamsutdinova E. Z., Piskovskii Yu. M. Perennial forage grasses - the basis for greening agricultural production. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;663:012022. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/663/1/012022

6. Kosolapov V. M., Cherniavskih V. I., Dumacheva E. V., Marinich M. N., Sajfutdinova L. D., Lanin D. O. The role of perennial grasses in the protection of soil resources of erosive ecosystems with active development of Linear erosion. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021;901:012007. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/901/1/012007

7. Перспективная ресурсосберегающая технология производства семян клевера для Северного региона Нечерноземной зоны России: методические рекомендации. Киров: ФГБНУ "НИИСХ Северо-Востока", 2015. 72 с. Режим доступа: https://search.rsl.ru/ru/record/01008071475

8. Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А., Мокиев В. Ю. Барабанная клеверотерка с пневмосепарирующим устройством. Сельский механизатор. 2020;(5-6):8-9.

9. Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А., Мокиев В. Ю. Обоснование основных конструктивно-технологических параметров пневмосепарирующего устройства клеверотерки-скарификатора. Агроинженерия. 2021;(4(104)):9–13. DOI: https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-4-9-13 EDN: DSKANW

10. Анисимов Н. П. Об использовании методики планирования эксперимента в соответствие с трёхуровневыми планами Бокса-Бенкена. Вестник магистратуры. 2017;(2-2(65)):32–36. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=29771488 EDN: ZBMSQH

11. Селезнёва Е. В., Юрина Т. А. Система автоматизированного планирования эксперимента и получения уравнения регрессии. Вестник СибАДИ. 2014;(3(37)):84–87. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=21815518 EDN: SJKCTV

References

1. Kiselev N. P., Kormshchikov A. D., Nikiforova E. V., Prozorova I. N., Prozorov V. A., Kiselev S. N. Vyatka clovers. Kirov: *GIPP «Vyatka»*, 1995. 276 p.

2. Novoselov Yu. K., Shpakov A. S., Kharkov G. D. Field feed production as a factor of stabilization of the feed base and biologization of agriculture. Feed production in Russia: *sb. nauchn. tr*. Moscow: *VIK*, 1997. pp. 30–42.

3. Figurin V. A. Growing of perennial grasses for fodder use. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2013. 188 p.

4. Bozhanska T., Churkova B. Correlation and regression relationships between quantitative and qualitative indicators of perennial grass and legume mixtures. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020;26(3):567–573. URL: https://agrojournal.org/26/03-11.pdf

5. Kosolapov V. M., Kostenko S. I., Tyurin Yu. S., Shamsutdinova E. Z., Piskovskii Yu. M. Perennial forage grasses - the basis for greening agricultural production. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;663:012022. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/663/1/012022

6. Kosolapov V. M., Cherniavskih V. I., Dumacheva E. V., Marinich M. N., Sajfutdinova L. D., Lanin D. O. The role of perennial grasses in the protection of soil resources of erosive ecosystems with active development of Linear erosion. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021;901:012007. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/901/1/012007

7. A promising resource-saving technology for the production of clover seeds for the Northern region of the Non-Chernozem zone of Russia: methodological recommendations. Kirov: *FGBNU «NIISKh Severo-Vostoka»*, 2015. 72 p. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01008071475

8. Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazykin V. A., Mokiev V. Yu. Drum clover grater with pneumatic separator. *Sel'skiy mekhanizator*. 2020;(5-6):8-9. (In Russ.).

9. Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazykin V. A., Mokiev V. Yu. Determination of the basic design and technological parameters of the pneumatic separating device of a clover thresher and scarifier. *Agroinzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2021;(4(104)):9–13. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-4-9-13

10. Anisimov N. P. About the use of the experimental planning method in accordance with the three-level plans of Box-Benken. *Vestnik magistratury*. 2017;(2-2(65)):32–36. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29771488

11. Selezneva E. V., Yurina T. A. System of computer-aided planning of experiment and receiving regression equation. *Vestnik SibADI* = The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2014;(3(37)):84–87. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=21815518

Сведения об авторах

Бурков Александр Иванович, доктор техн. наук, профессор, ведущий 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: https://orcid.org/0000-0002-5287-1532**

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/0000-0002-5287-1532

✉ **Лазыкин Виктор Алексеевич**, кандидат техн. наук, научный сотрудник лаборатории зерно- и семяочистительных машин, 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/0000-0002-5287-1532, e-mail: ellestar@bk.ru

Мокиев Валентин Юрьевич, кандидат техн. наук, научный сотрудник лаборатории зерно- и семяочистительных машин, 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/0000-0002-3368-1151

Information about the authors

Aleksandr I. Burkov, DSc in Engineering, professor, leading 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/0000-0002-5287-1532**

Andrei L. Gluhkov, 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**

✉ **Victor A. Lazukin,** PhD in Engineering, researcher, 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/0000-0002-3910-8620**,
e-mail: ellestar@bk.ru

Valentin Yu Mokiev, PhD in Engineering, researcher, 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/0000-0002-3368-1151**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.938–948
УДК 631.152.3

(cc) BY

Совершенствование технологии раздачи корма на молочно-товарных фермах для крупного рогатого скота

© 2024. Е. А. Никитин[1], В. В. Кирсанов[1], Г. Н. Самарин[1,2], В. Ю. Сидорова[1], Р. А. Мамедова[1]✉, И. В. Князева[1], А. В. Титенков[1]

[1]*ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация*

[2]*ФГОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень, Российская Федерация*

В статье приведен анализ существующих технологий кормления на молочно-товарных фермах, которые разделены на четыре типа и оценены по точности дозирования концентрированных и объемистых кормов в смеситель. При первом типе кормления приготовление корма осуществляется прицепным миксером-раздатчиком, где каждый компонент дозируется погрузчиком, точность дозирования корма измерялась бортовой системой взвешивания Dailly TMR Manager. Второй тип включает использование самоходного миксера-раздатчика кормов с самозагрузкой. Третий тип кормления в стационарном кормоцехе предусматривает использование стационарного смесителя-раздатчика кормов и средств автоматизированной раздачи (колесный робот или кормовой вагон). Четвертый тип технологии кормления представлен в виде самоходного шасси, на котором устанавливается емкость смесителя кормов и автономная система дозирования концентрированных кормов для разных половозрастных технологических групп. Высокую погрешность дозирования концентрированных кормов показала первая технология кормления, максимальное зарегистрированное значение 17 % из 100 измерений. При дозировании объемистых кормов высокую погрешность показали первая и четвертая технологии кормления – до 6 %. Технология кормления в стационарном кормоцехе имеет высокую точность дозирования всех типов кормов, основные недостатки этой технологии большая металлоемкость, энергоемкость и громоздкость конструкции, что увеличивает стоимость оборудования и его обслуживание. Удельная масса концентратов в рационе кормления требует использования высокоточного дозирующего оборудования, исключающего погрешности дозирования, связанные с человеческим фактором. Передозировка концентрированных кормов увеличивает себестоимость молока, повышает риск ацидоза, а недостаток снижает эффективность обмена питательных веществ у животных. На основании приведенного анализа существующих технологий предложена технология кормления, использующая самоходный миксер-раздатчик с автоматической системой весового контроля и устройством самозагрузки объемистых кормов, а для концентрированных кормов – роботизированное устройство, которое оснащено точным дозатором концентрированных кормов и минеральных добавок с 2 %-ной максимальной погрешностью.

Ключевые слова: *концентрированный корм, объемистый корм, технология кормления, человеческий фактор, дозирование корма, устройство раздачи корма*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № FGUN-2022-0014).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Никитин Е. А., Кирсанов В. В., Самарин Г. Н., Сидорова В. Ю., Мамедова Р. А., Князева И. В., Титенков А. В. Совершенствование технологии раздачи корма на молочно-товарных фермах для крупного рогатого скота. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):938–948. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.938-948

Поступила: 26.04.2024 Принята к публикации: 07.10.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Improving the technology of feed distribution on dairy farms for cattle

© 2024. Evgeniy A. Nikitin[1], Vladimir V. Kirsanov[1], Gennadiy N. Samarin[1, 2], Viktoriya Yu. Sidorova[1], Ravza A. Mamedova[1]✉, Inna V. Knyazeva[1], Andrey V. Titenkov[1]

[1]*Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation*

[2]*Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russian Federation*

The article provides an analysis of existing feeding technologies on dairy farms, which are divided into four types and evaluated by the accuracy of dosing concentrated and bulky feeds into a mixer. In the first type of feeding, the feed is prepared by a trailer mixer-distributor, where each component is dosed by a loader, the accuracy of the feed dosage was measured by the onboard weighing system "Dailly TMR Manager". The second type involves the use of a self-propelled feed dispenser mixer with self-loading. The third feeding scheme in a stationary feed mill provides for the use of a stationary mixer-distributor of feed and automated distribution means (a wheeled robot or a feed wagon). The fourth type of feeding technology is presented in the form of a self-propelled chassis, on which the feed mixer capacity and an autonomous dosing

system of concentrated feeds for different age and gender technological groups are installed. The high dosage error of concentrated feeds was shown by the first feeding technology, the maximum recorded value of 17 % out of 100 measurements. When dosing bulky feeds, the first and fourth feeding technologies showed a high error of up to 6 %. The technology of feeding in a stationary feed mill has a high accuracy of dosing of all types of feed, but the main disadvantages of this technology are high metal consumption, energy consumption and bulkiness of the structure, which increases the cost of equipment and its maintenance. The specific gravity of concentrates in the feeding diet requires the use of high-precision dosing equipment, eliminating dosage errors associated with the human factor. An overdose of concentrated grains increases the cost of milk, increases the risk of acidosis, and a lack reduces the efficiency of animal nutrient metabolism. Based on the above analysis of existing technologies, a feeding technology is proposed using a self-propelled mixer distributor with an automatic weight control system and a self-loading device for bulky feeds, and for concentrated feeds – a robotic device equipped with an accurate dispenser of concentrated feeds and mineral additives with a maximum error of 2 %.

Keywords: *concentrated feed, bulky feed, feeding technology, human factor, dosing mixture feed, feed distribution device*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. FGUN-2022-0014).

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

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

For citations: Nikitin E. A., Kirsanov V. V., Samarin G. N., Sidorova V. Yu., Mamedova R. A., Knyazeva I. V., Titenkov A. V. Improving the technology of feed distribution on dairy farms for cattle. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):938–948. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.938-948

Received: 26.04.2024 Accepted for publication: 07.10.2024 Published online: 30.10.2024

Как известно, одним из основных процессов в животноводстве является кормление. В настоящее время на молочно-товарных фермах существует разное количество технологий кормления животных. Данные современные решения не всегда позволяют обеспечивать полноценный рацион питания животных. В зависимости какое используется оборудование при раздаче корма – это может быть прицепной миксер-раздатчик или стационарный кормоцех, у которых встречаются недостатки, связанные с погрешностью дозирования при раздаче корма, оказывает существенное влияние на сбалансированность рациона питания [1]. Актуальность совершенствования существующих технологий кормления крупного рогатого скота, не вызывает сомнений [2].

Для полноценного кормления животных необходимо, чтобы кормовой стол перед каждой технологической группой был равномерно заполнен кормом. При этом кормовая смесь должна быть сбалансирована по питательным веществам, концентрированные и объемистые корма качественно перемешаны [3, 4].

Правильно организованный процесс кормления животных с применением автоматизации и роботизации трудоемких процессов способствует повышению продуктивности дойного стада [5], стабилизирует удои коров основного стада, снижает период достижения живой массы для начала воспроизводительной активности у телок, улучшает качество сырого молока.

Себестоимость производства высококачественного молока напрямую зависит от наличия инновационных технологий, используемых при автоматизации процессов кормления самоходной техники [6], так как за один и тот же период можно получить бóльшее количество дополнительного молока, что позволяет уменьшить себестоимость получаемой продукции. При интенсивной технологии с использованием комплексной механизации и автоматизации процессов кормления молодняк крупного рогатого скота к 13–15-месячному возрасту достигает живой массы 390–450 кг и более, что является достаточным параметром, обеспечивающим интенсификацию производственных процессов и ускоряющие капиталоотдачу вложенных средств в технологическое оснащение [7].

В настоящее время на животноводческих фермах используются автоматические системы составления рационов: РАЦИОН, Коралл-АГРО, Белкофф, AMTS, HYBRIMIN Futter, в базе данных которых содержится информация о питательности компонентов кормовой смеси, используемых в каждом отдельном стаде, величина потребности в кормах, макро- и микроэлементах различных половозрастных и продуктивных групп животных [8]. Данные технологии позволяют смешивать, доизмельчать и производить выгрузку таких кормов, как сено, сенаж, солома, зерно, силос, минеральные добавки и т. п., обладающих различной плотностью, вязкостью и влажностью. Причем характеристики компонентов основных исходных кормов должны быть сохранены при раздаче рациона животным в полном объеме.

Цель исследования – проанализировать существующие технологии организации кормления крупного рогатого скота на животно-

водческих комплексах и обосновать наиболее рациональный набор машин, способствующий повышению технологической эффективности кормления крупного рогатого скота.

Научная новизна – обоснование набора машин для организации технологии кормления крупного рогатого скота, способствующей минимизации погрешности дозирования концентрированных кормов посредством использования роботизированного устройства.

Материал и методы. В работе рассмотрены четыре основные технологические схемы раздачи корма, которые наиболее часто встречаются на молочно-товарных фермах, и приведены данные по точности дозирования объемистых и концентрированных кормов при раздаче.

Исследования проводили на базе ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва) в лаборатории № 11.3 «Инновационные технологии и технические средства кормления в животноводстве» в период с 2022 по 2023 год, включая выездные работы на базах агрофирм АО «Зеленоградское», АО «Совхоз им. Ленина», АО «Агропромкомплектация», КФХ «Лопотов А. Н.», ООО «Русмолоко».

Исследования включали сбор и обобщение информации, полученной из отраслевой практики, интернет-ресурсов, научно-технического фонда, справочников, методических руководств, рекомендаций, патентно-лицензионных источников и собственных исследований.

Задача работы сводилась к классификации технологий кормления крупного рогатого скота с использованием машин для раздачи кормовой смеси различного типа на соответствующие группы. Проведен анализ значений раздачи концентрированных и объемистых кормов, снимаемых с автоматизированных бортовых систем взвешивания. В результате исследования выявлены следующие технологии раздачи корма:

№ 1 – с использованием прицепного смесителя-раздатчика кормов. Данная технология исследовалась на примере миксера-раздатчика «Хозяин» (производство РФ, ныне ООО «КОБЛИК ГРУПП») в АО «Зеленоградское» Пушкинского района Московской области, точность дозирования измеряли бортовой системой взвешивания Dailly TMR Manager (производство Dinamica Generalle – Италия), работающего в паре с телескопическим погрузчиком [9];

№ 2 – с использованием самоходного миксера-раздатчика кормов с самозагрузкой. Данная технология кормления представлена на примере самоходного миксера-раздатчика DeLaval VS-22 (производство Delaval – Швеция) в АО «Агропромкомплектация», Конаковского района Тверской области, точность дозирования корма измеряли бортовой системой взвешивания;

№ 3 – в стационарном кормоцехе с использованием стационарного смесителя раздатчика кормов и средств автоматизированной раздачи (колесный робот или кормовой вагон). Технологию кормления оценивали по предоставленным результатам молочно-товарной фермы КФХ «Лопотов А. Н.», где применяется кормовой вагон Delaval RA135 (производство фирмы Delaval – Швеция);

№ 4 – с использованием самоходного шасси, на котором размещаются емкости для дозирования концентрированных кормов. Технология исследовалась на примере самоходного миксера-раздатчика Пента МКС-25У (производство ООО «ПФТ», РФ) на базе КАМАЗ на молочно-товарной ферме компании ООО «Русмолоко» Московской области [10].

Результаты и их обсуждение. Исследование различных технологий для раздачи кормосмесей показало, что в основном на молочно-товарных фермах нашей страны применяются четыре основных типа технологий, которые учитывают погрешность дозирования концентрированных и объемистых кормов. При условии, что современные машины и технологическое оборудование для раздачи кормовой смеси оснащаются системой автоматического взвешивания дозируемых компонентов кормовой смеси.

Согласно проведенным исследованиям, наиболее распространенной на современных молочно-товарных фермах стала технология № 1 кормления крупного рогатого скота с использованием прицепного миксера раздатчика корма, агрегатируемого вместе с трактором. Емкости миксера-раздатчика наполняются с помощью погрузчика, а дозирование концентратов осуществляется посредством шнека, который установлен в бункере для хранения кормосмеси. Контроль веса дозируемого корма осуществляется с помощью бортовой системы взвешивания на миксере-раздатчике (рис. 1).

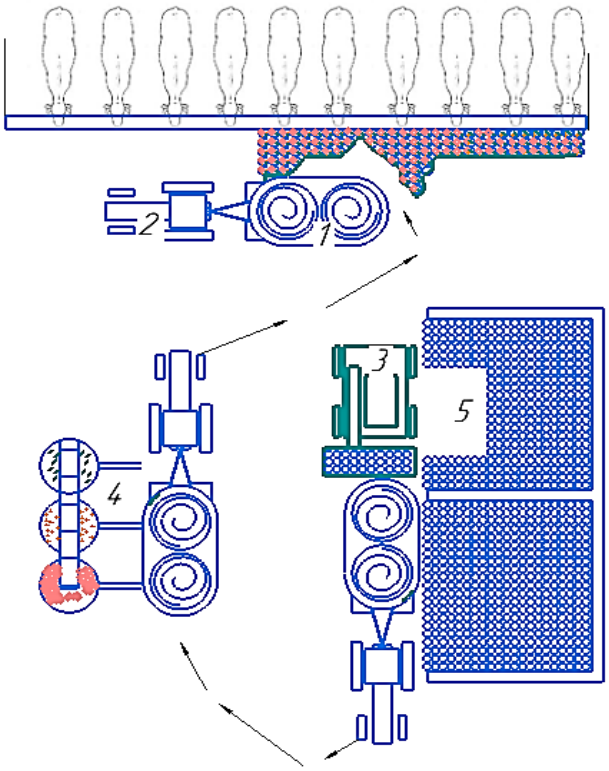


Рис. 1. **Технологическая схема раздачи корма с помощью прицепного миксера-раздатчика: 1 – прицепной миксер-раздатчик, 2 – транспортное средство, 3 – погрузчик, 4 – бункеры-дозаторы концентрированных кормов, 5 – хранилище объемистых кормов /**

Fig. 1. **Technological scheme of feed distribution by a trailer mixer-distributor using, where: 1 – is a trailer mixer distributor, 2 – a transport vehicle, 3 – a loader, 4 – bunkers' dispensers of concentrated feed, 5 – bulky feed's storage**

Ключевой недостаток этой технологии – необходимость задействования двух операторов для управления сельскохозяйственной техникой (на погрузчике и тракторе, который агрегатирует миксер-раздатчик). Эти факторы формируют дополнительные издержки, связанные с фондом оплаты труда, налоговыми и страховыми сборами за владение техникой.

Технология № 2 раздачи корма подразумевает применение самоходного миксера-раздатчика с системой самозагрузки и бортовой системой взвешивания дозируемых кормов. Дозирование концентрированных кормов осуществляется посредством дозаторов, которые находятся в накопительных бункерах (рис. 2).

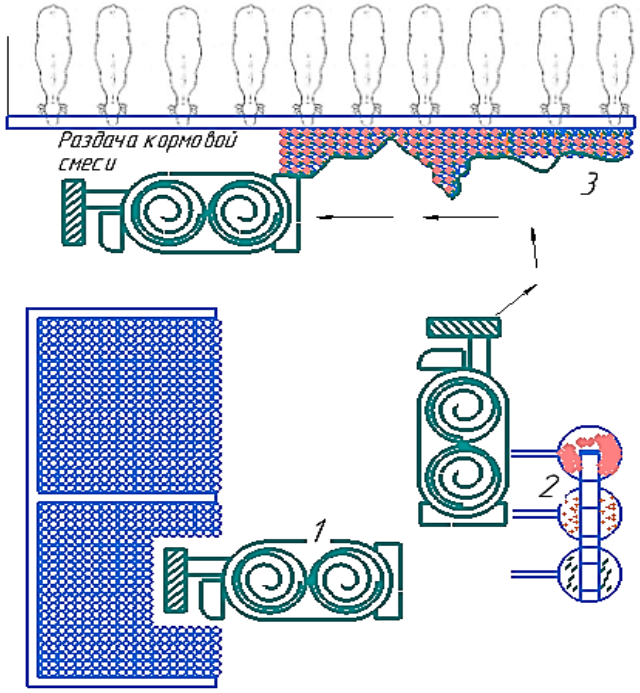


Рис. 2. **Технологическая схема раздачи корма с применением самоходного миксера-раздатчика с системой самозагрузки:**
1 – самоходный миксер-раздатчик, 2 – бункеры-дозаторы концентрированных кормов,
3 – кормовой стол на ферме /

Fig. 2. **Technological scheme of feed distribution by a self-propelled mixer distributor with a self–loading system, where 1 – is a self-propelled mixer distributor, 2 – concentrated feed dispensers, 3 – feed table on the farm**

Очевидным преимуществом технологии № 2 является отсутствие необходимости использования специализированного погрузчика для объемистых кормов и, как следствие, исключена необходимость дополнительного найма оператора.

Помимо этого, большинство самоходных миксеров-раздатчиков оборудуется фрез-барабаном для погрузки объемистых кормов, который доизмельчает стебельчатые культуры, что благоприятно влияет на усвоение питательных веществ.

Технология кормления №3 включает наличие стационарного кормоцеха и является одной из наиболее дорогих технологий кормления крупного рогатого скота, которая состоит из технологического помещения с бункерами промежуточного хранения крупностебельчатых объемистых кормов, таких как сенаж, сено, силос, и другие, а хранение и дозирование концентрированных кормов происходит аналогично представленным выше технологиям №1 и №2. Раздача кормовой смеси в данной технологии осуществляется кормовым вагоном, который движется по жесткозакрепленной рельсе или роботом-раздатчиком с автоматической системой позиционирования (рис. 3).

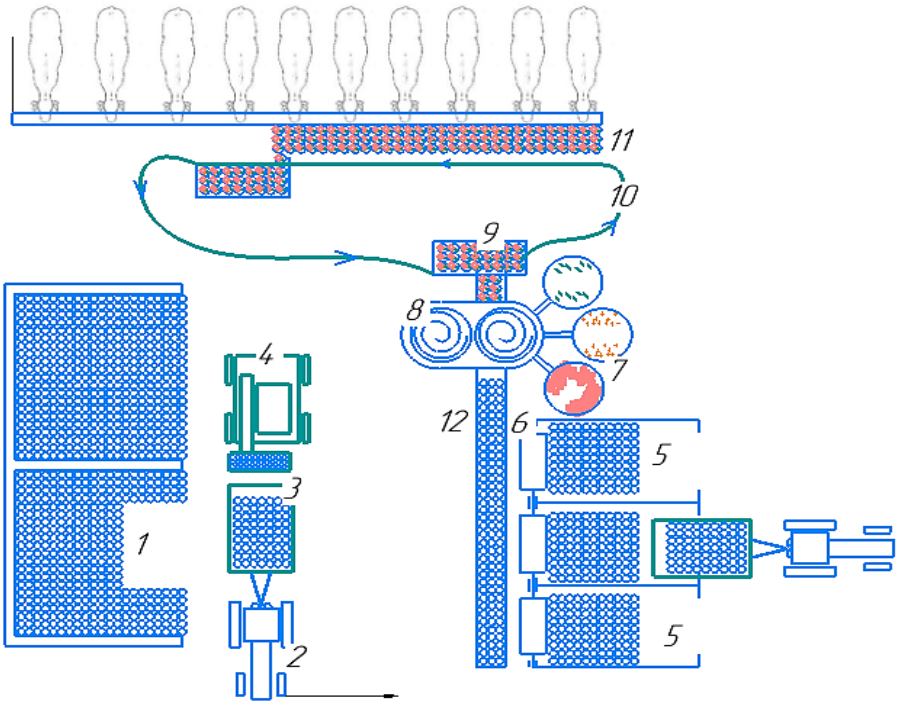


Рис. 3. **Технологическая схема раздачи корма в стационарном кормоцехе: 1 – основное хранилище объемистых кормов; 2 – транспортное средство; 3 – прицеп; 4 – погрузчик; 5 – промежуточное хранилище объемистых кормов; 6 – дозатор объемистых кормов; 7 – бункер-дозатор концентрированных кормов; 8 – смеситель; 9 – вагон раздатчик; 10 – условная траектория перемещения; 11 – кормовой стол; 12 – транспортер /**

Fig. 3. **Technological scheme of feed distribution in a stationary feed shop: 1 – is the bulky feeds' main storage; 2 – a transport vehicle; 3 – a trailer; 4 – a loader; 5 – bulky feeds' intermediate storage; 6 – bulky feeds' dispenser; 7 – concentrated feed's hopper- dispenser; 8 – a mixer; 9 – distributor car; 10 – movement's conditional trajectory; 11 – feed table; 12 – conveyor**

Очевидное преимущество технологии №3 – автономность процесса смешивания и раздачи кормов. Раздача кормов многократная до 6 раз в сутки, что способствует повышению потребления корма у животных, при этом кормовой вагон или робот совмещает в себе функции подталкивателя кормов. Однако дозаторы объемистых кормов 6, нуждаются в пополнении суточного запаса корма, что также требует использования погрузочно-разгрузочной техники, машин для транспортировки. При этом технология не масштабируема на фермы с поголовьем более 1500 голов.

Технология кормления крупного рогатого скота №4 (рис. 4) является одним из новейших решений на мировом рынке технологического

оборудования. Контейнер для смешивания кормов находится прямо на мобильном шасси и оснащается автономной системой для дозирования концентрированных кормов разным технологическим половозрастным группам животных на молочно-товарной ферме. Это осуществляется за счет возможности дозирования, во время движения концентраты могут подаваться в смеситель, что существенно сокращает время выполнения операций. Данная технология кормления представлена на примере миксера-раздатчика Пента «МКС-25У» фирмы «ПРОФИДТЕХ» на базе автомобиля КАМАЗ.

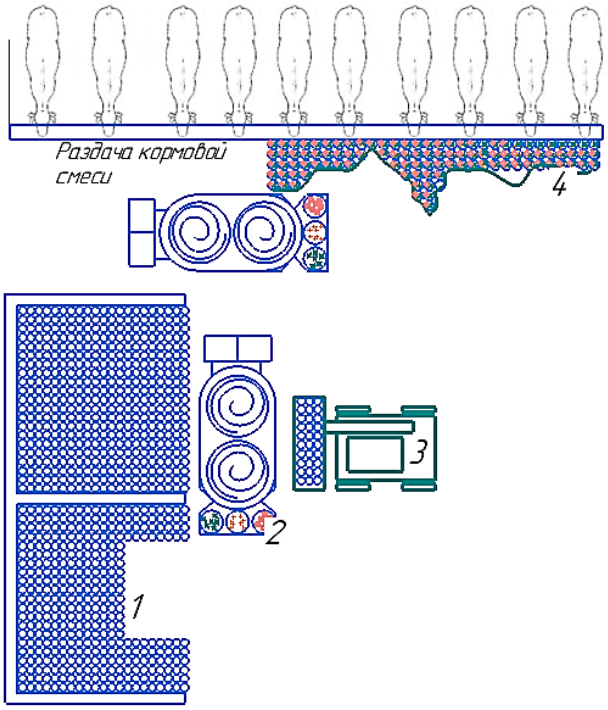


Рис. 4. **Технологическая схема раздачи корма с самоходным миксером-раздатчиком с раздельными бункерами для комбикормов: 1 – хранилище объемистых кормов; 2 – раздатчик смеситель с бункерами для концентратов; 3 – погрузчик; 4 – кормовой стол на молочно-товарной ферме /**

Fig. 4. **Technological scheme of feed distribution with a self-propelled mixer-distributor and separate feed hopper: 1– is a storage of bulky feeds; 2 – a distributor mixer with concentrates' bunkers; 3 – loader; 4 – feed table on the dairy farm**

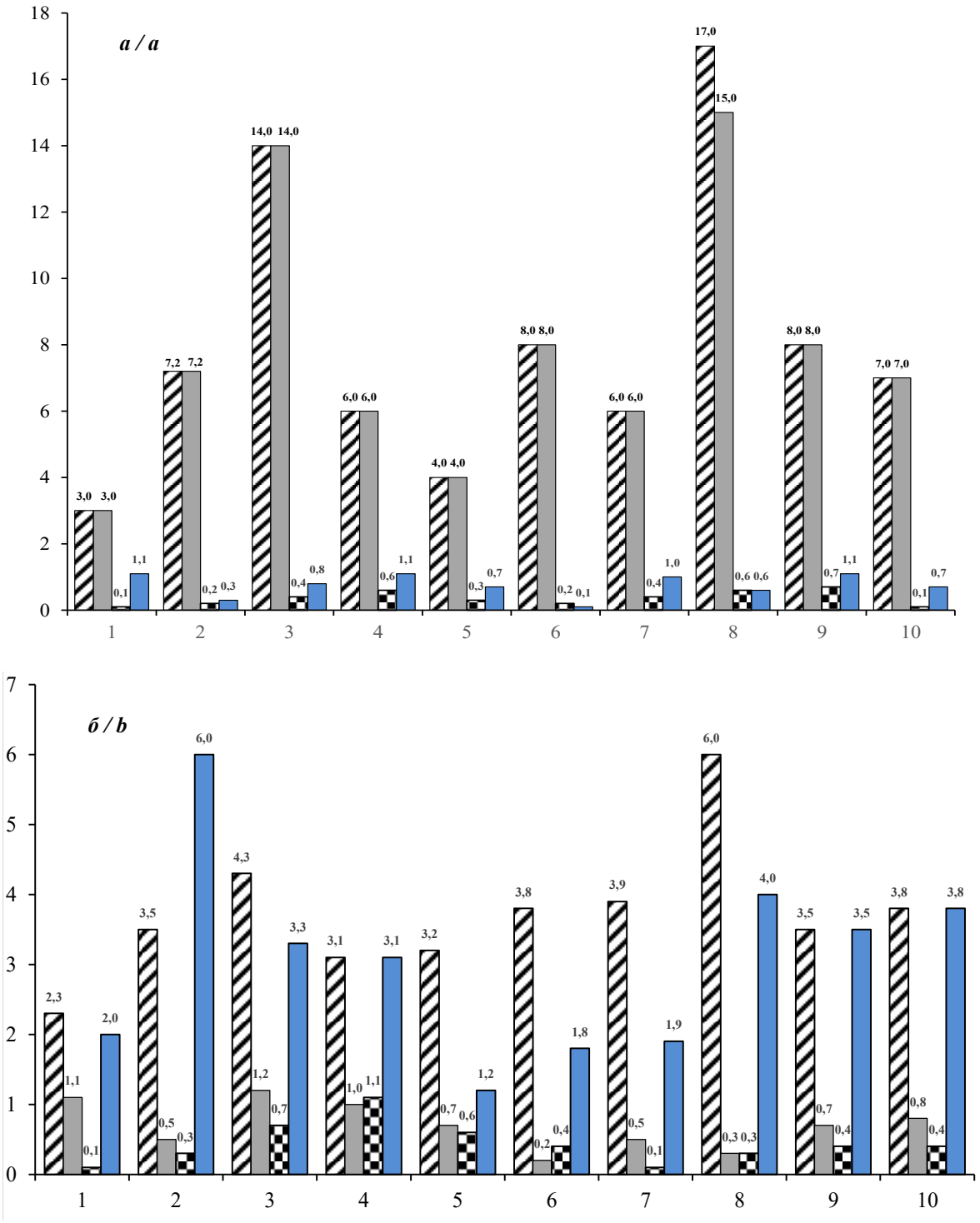
Подобное решение находит широкое применение в Российской Федерации на предприятиях, которые сформировались в результате смены форм собственности, повлекшей за собой интеграцию нескольких малых предприятий в одно крупное, где инфраструктура хранения кормов располагается в одном месте, а здания животноводческих комплексов рассредоточены друг относительно друга на большом расстоянии более 5 км. Самоходное шасси грузового автомобиля позволяет осуществлять транспортировку с большей скоростью, чем с использованием трактора и прицепного миксера.

Однако существенным ограничением технологии № 4 является высота борта миксера-раздатчика, установленного на шасси, превышающая 4 м, что не позволяет использовать подобные машины на предприятиях, построенных по проектам СССР, которые по сей день имеют широкое распространение в отдаленных регионах Российской Федерации.

Независимо от технических предпосылок используемых машин, описанных выше, нами был проведен анализ данных по погрешности дозирования концентрированных кормов в каждой из описанных технологий, зарегистрированных посредством весовой системы Daily TMR Manager, установленной на конкретной машине каждого из типов технологий раздачи корма.

Построение графиков погрешности дозирования кормов осуществляли с помощью программы управления на весовом терминале бортовой системы весового дозирования, установленной на смеситель-раздатчик корма, а также использование программного обеспечения Dinamica generale, которое позволяет структурировать данные раздачи корма по каждой технологической группе животных на молочно-товарной ферме.

На рисунке 5 представлены данные погрешности дозирования концентрированных и объемистых кормов по четырем исследуемым технологиям раздачи корма на молочно-товарных фермах.



– Технология кормления с использованием прицепного миксера-раздатчика / Feeding technology by a mixer-distributor trailer using

– Технология кормления с использованием самоходного миксера-раздатчика кормов с самозагрузкой / Feeding technology by a self-propelled mixer-distributor with a self-loading system using

– Технология кормления в стационарном кормоцехе / Technological as in stationary feed shop feeding

– Технология кормления с самоходным миксером-раздатчиком с раздельными бункерами для комби-кормов / Feeding technology by a self-propelled mixer-distributor with separate com-bined feed's bunker

Рис. 5. **Погрешность дозирования корма в зависимости от технологии раздачи: *а*) концентрированных кормов; *б*) объемистых кормов /**

Fig. 5. **Feed dosage precision depending on the technology: *a*) dosage precision of concentrated feed; *b*) dosage precision of bulky feed**

Анализ четырех типов технологий раздачи корма на молочно-товарных фермах выявил, что одним из важных факторов, снижающих эффективность кормления, является высокая погрешность дозирования концентрированных кормов, таких как зерновой размол, шроты и жмыхи масличных культур и других.

Даже при наличии системы весового дозирования на миксере-раздатчике, которая дает обратную связь оператору погрузчика, не всегда позволяет оператору вовремя среагировать на случайное опрокидывание утрамбованной силосной или сенажной массы из ковша. По результатам оценки эффективности технологий раздачи корма, наибольшую точность дозирования объемистых кормов показал самоходный миксер-раздатчик с системой самозагрузки в виде фрез барабана (рис. 2).

Точность дозирования концентрированных кормов и минеральных добавок, как показали результаты оценки протоколов системы весового контроля, требует большего внимания из-за того, что удельная масса концентратов в рационе питания животных меньше, что требует использования более точного оборудования для дозирования корма и исключения человеческого фактора.

Как известно, перерасход корма при раздаче увеличивает себестоимость молока. В то же время нехватка минеральных добавок в рационе питания животного снижает эффективность протекания обменных процессов и ухудшает показатели здоровья.

На повышение эффективности кормления также влияет качество смешивания кормов, постоянное поддержание корма на кормовом столе. Доступность корма на кормовом столе зависит от работы персонала фермы и своевременного использования технических средств, подталкивающих корм. Для улучшения вкусовых качеств корма проводят подсыпку комбикормов, предотвращают слёживание корма (особенно в летний период), регулируют кратность раздачи корма.

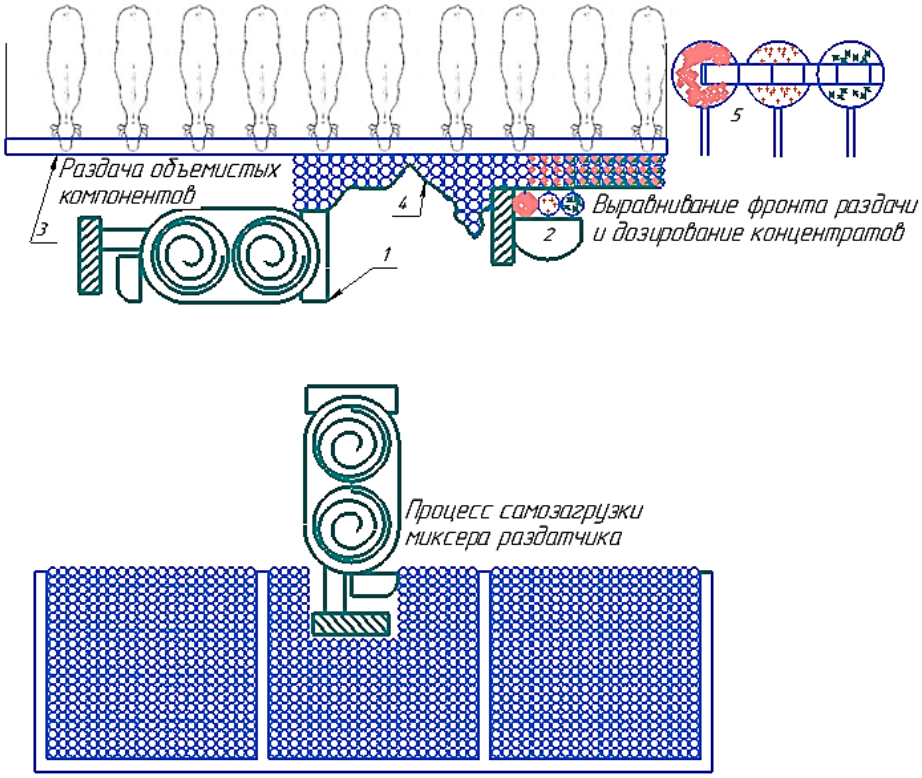


Рис. 6. **Технологическая схема раздачи корма с применением роботизированного устройства для дозирования концентрированных кормов и обслуживанием кормового стола: 1 – миксер-раздатчик; 2 – роботизированное устройство для внесения концентрированных кормов и выравнивание фронта кормления; 3 – кормовой стол; 4 – корм; 5 – бункеры с кормовыми добавками /**

Fig. 6. **Technological scheme of feed distribution using a robotic device for dosing concentrated feeds and maintenance of the feed table: 1 – mixer distributor; 2 – a robotic device for dosing concentrated feed and alignment of the feeding front; 3 – feed table on the farm; 4 – feed; 5 – feed hopper**

Для повышения технологической эффективности кормления крупного рогатого скота на молочно-товарных фермах нами предложены следующие решения:

- для раздачи объемистых кормов использовать самоходный миксер-раздатчик с автоматической системой весового контроля и устройством самозагрузки;

- для точного дозирования концентратов или минеральных добавок, их эффективного смешивания, а также для обеспечения доступности корма на кормовом столе использовать малогабаритное роботизированное техническое средство.

Принципиальная схема предлагаемой технологии раздачи корма для крупного рогатого скота с использованием роботизированного устройства внесения концентрированных кормовых добавок и выравнивания кормового фронта при обслуживании кормового стола представлена на рисунке 6 [11].

Представленная технологическая схема раздачи корма для крупного рогатого скота предполагает использование роботизированного устройства для внесения концентрированных кормов в рацион питания и обслуживание кормового стола на молочно-товарной ферме. Применение роботизированного устройства позволит повысить точность дозирования концкормов, исключит влияние человеческого фактора на процесс раздачи корма и выравнивание фронта кормового стола, что позволит повысить продуктивность животных.

Выводы. 1. В рамках настоящего исследования было проанализировано 4 типа существующих технологий организации кормления крупного рогатого скота на животноводческих комплексах по критерию точности дозирования компонентов кормовой смеси, используя протоколы, регистрируемые весовыми терминалами Dinamica generale.

2. В результате анализа данных, зарегистрированных весовыми терминалами, устанавливаемыми на борт смесителя-раздатчика кормов, было выявлено, что оператор погрузчика при дозировании концентрированных кормов и минеральных добавок в среднем совершает ошибку более чем на 10 %, при этом показатель погрешности возрастает с уменьшением массы дозирования концентрированного корма.

3. Предложенная технологическая схема раздачи концентрированного корма с использованием роботизированного устройства для обслуживания кормового стола, оснащенного системой микродозирования, обеспечит равномерное распределение концентрированных и минеральных добавок по всему фронту кормового стола, а использование самоходного миксера-раздатчика, оснащенного системой самозагрузки и весовым терминалом, минимизирует издержки, связанные с эксплуатацией техники и фондом оплаты труда персонала.

Список литературы

1. Дорохов А. С., Никитин Е. А., Семенюк Е. С. Проблемы эффективного смешивания сочных и концентрированных компонентов кормосмеси для крупного рогатого скота в условиях современного животноводства. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019;(1(33)):52–56. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=37148316 EDN: ZAIRBB

2. Морозов Н. М., Кирсанов В. В., Ценч Ю. С. Историко-аналитическая оценка развития процессов автоматизации и роботизации в молочном животноводстве. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023;17(1):11–18. DOI: https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18 EDN: BJDTTU

3. Tarannum N., Rhaman M. K., Khan S. A., Shakil S. R. A Brief Overview and Systematic Approch for Using Agricultural Robot in Developing Countries. J. Mod. Sci. Technol. 2015;3(1):88–101.
URL: https://zantworldpress.com/wp-content/uploads/2019/12/Paper-8.pdf

4. Иванов Ю. А., Скоркин В. К., Резник Е. И. Перспективы развития кормовой базы для крупного рогатого скота. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2005;(7):62–69.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=12881563 EDN: KVXBRH

5. Gao X., Li J., Fan L., Zhou Q., Yin K., Wang J., Song C., Huang L., Wang Z. Review of Wheeled Mobile Robots' Navigation Problems and Application Prospects in Agriculture. IEEE Access. 2018;6:49248–49268.
DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2868848

6. Дорохов А. С., Игнатов В. И., Герасимов В. С. Проблемы использования самоходной техники различных технологических укладов. Проблемы развития технологий создания, сервисного обслуживания и использования технических средств в агропромышленном комплексе: мат-лы Международн. научн.-практ. конф. Воронеж: Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, 2017. С. 204–211.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=34991434 EDN: XOOXVB

7. Никитин Е. А., Дорохов А. С., Павкин Д. Ю. Совершенствование технологии приготовления кормовой смеси при реконструкции кормовых площадок. Техника и оборудование для села. 2019;(11(269)):32–34. DOI: https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-11-32-34 EDN: RIRDVM

8. Солонщиков П. Н., Косолапов Е. В. Исследование эксплуатационных параметров мобильного измельчителя-раздатчика грубых кормов. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(9):160–167. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=41721277 EDN: FJLNNN

9. Iqbal J., Xu R., Sun S., Li C. Simulation of an Autonomous Mobile Robot for LiDAR-Based In-Field Phenotyping and Navigation. Robotics. 2020;9(2):46. DOI: https://doi.org/10.3390/robotics9020046

10. Карпов В. П. Система пневматической самозагрузки раздатчика кормов. Техника и технологии в животноводстве. 2021;(1(41)):22–26. DOI: https://doi.org/10.51794/27132064-2021-1-22 EDN: SMZUDE

11. Дорохов А. С., Никитин Е. А., Кирсанов В. В., Павкин Д. Ю. Роботизированное устройство для обслуживания кормового стола на животноводческих комплексах: пат. №2747167 Российская Федерация. №2020128280: заяв. 25.08.2020; опубл. 28.04.2021. Бюл. №13. 9 с.
Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet

References

1. Dorokhov A. S., Nikitin E. A., Semenyuk E. S. The problem of cattle feed mixtures' juicy and concentrated components effective mixing at livestock breeding modern conditions. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2019;(1(33)):52–56. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=37148316

2. Morozov N. M., Kirsanov V. V., Tsench Yu. S. Historical and Analytical Assessment of Automation and Robotization for Milking Processes. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2023;17(1):11–18. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18

3. Tarannum N., Rhaman M. K., Khan S. A., Shakil S. R. A Brief Overview and Systematic Approch for Using Agricultural Robot in Developing Countries. J. Mod. Sci. Technol. 2015;3(1):88–101.
URL: https://zantworldpress.com/wp-content/uploads/2019/12/Paper-8.pdf

4. Ivanov Yu. A., Skorkin V. K., Reznik E. I. Prospects for the development of a feed base for cattle. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2005;(7):62–69. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=12881563

5. Gao X., Li J., Fan L., Zhou Q., Yin K., Wang J., Song C., Huang L., Wang Z. Review of Wheeled Mobile Robots' Navigation Problems and Application Prospects in Agriculture. IEEE Access. 2018;6:49248–49268.
DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2868848

6. Dorokhov A. S., Ignatov V. I., Gerasimov V. S. Problems of using self-propelled vehicles of various technological structures. Problems of development of technologies for the creation, maintenance and use of technical means in the agro-industrial complex: Proceedings of International scientific and practical conf. Voronezh: *Voronezhskiy GAU im. Imperatora Petra I*, 2017. pp. 204–211. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=34991434

7. Nikitin E. A., Dorokhov A. S., Pavkin D. Yu. Improving a process for the preparation of feed mixture during the reconstruction of feed sites. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2019;(11(269)):32–34. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-11-32-34

8. Solonshchikov P. N., Kosolapov E. V. Research of operating parameters of mobile feeder grinder-distributor. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2019;(9):160–167. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41721277

9. Iqbal J., Xu R., Sun S., Li C. Simulation of an Autonomous Mobile Robot for LiDAR-Based In-Field Phenotyping and Navigation. Robotics. 2020;9(2):46. DOI: https://doi.org/10.3390/robotics9020046

10. Karpov V. P. Pneumatic self-loading system of feeder. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* = Machinery and technologies in livestock. 2021;(1(41)):22–26. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.51794/27132064-2021-1-22

11. Dorokhov A. S., Nikitin E. A., Kirsanov V. V., Pavkin D. Yu. A robotic device for the maintenance of the feed table at livestock complexes: Patent RF no. 2747167, 2021.
URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet

Сведения об авторах

Никитин Евгений Александрович, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0918-2990**

Кирсанов Владимир Вячеславович, доктор техн. наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий отделом, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9837-282X**

Самарин Геннадий Николаевич, доктор техн. наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru; заведующий лабораторией № 11.3 «Инновационные технологии и технические средства кормления в животноводстве», ФГОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», д. 7, ул. Республики, г. Тюмень, Российская Федерация, 625003, e-mail: pr@gausz.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4371-8042

Сидорова Виктория Юрьевна, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9056-8326**

✉ **Мамедова Равза Анвяровна**, кандидат техн. наук, ведущий специалист, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9145-4478**, e-mail: rozamamedova@mail.ru

Князева Инна Валерьевна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1065-1814**

Титенков Андрей Владимирович, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4764-1978

Information about authors

Evgeniy A. Nikitin, PhD in Engineering, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, d. 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0918-2990

Vladimir V. Kirsanov, DSc in Engineering, professor, corresponding member of RAS, Head of the Department, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, d. 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9837-282X**

Gennadiy N. Samarin, DSc in Engineering, chief researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, d. 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru; Head of Laboratory No. 11.3 «Innovative technologies and technical means of feeding in animal husbandry», Northern Trans-Ural State Agricultural University, 7, Republic Street, Tyumen, Russian Federation, 625003, e-mail: pr@gausz.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4371-8042

Viktoriya Yu. Sidorova, DSc in Agricultural Science, chief researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, d. 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9056-8326

✉ **Ravza A. Mamedova**, **PhD in Engineering**, leading researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, d. 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9145-4478, e-mail: rozamamedova@mail.ru

Inna V. Knyazeva, PhD in Biological Science, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, d. 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1065-1814

Andrey V. Titenkov, laboratory researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, d. 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4764-1978

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.949–961
УДК 631.171:004.3:004.932

(cc) BY

Сверточная нейронная сеть для сегментации цветков яблони на изображениях

© 2024. А. И. Кутырёв✉
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

В статье предложен метод оценки интенсивности цветения яблони для выполнения технологической операции прореживания, включающий подготовку набора данных (dataset) и обучение моделей сверточных нейронных сетей YOLOv8-seg (n, s, m, l, x) для сегментации изображений. В исследованиях применена техника трансферного обучения, использованы предварительно обученные модели на наборе данных датасета COCO (Common Objects in Context). Набор изображений цветков яблони собран с использованием камеры GoPro HERO 11. Аннотация (разметка) изображений была выполнена на платформе Roboflow с применением инструментов выделения прямоугольных рамок (Bounding-box) и аннотации полигонов (Polygon Annotation and Labeling). Для расширения набора данных и повышения обобщающей способности моделей при обучении проведена аугментация исходных изображений, включающая горизонтальное отражение, горизонтальный поворот на 90°, поворот от -15° до +15°, добавление шумов до 5 % пикселей, размытие до 2,5 пикселей, горизонтальные и вертикальные сдвиги от -10° до 10°, а также изменение оттенка цветов от -15° до +15°. Метрики бинарной классификации, такие как точность Precision (точность) и Recall (полнота) использованы для оценки качества работы обученных моделей по распознаванию цветков яблони на изображениях при использовании ограничивающих рамок и масочной сегментации. Функция потерь $Loss_{Box/Mask}$ использована для оценки ошибок модели в определении ограничивающих рамок и масок сегментации объектов на изображении в процессе обучения. В результате проведенных исследований определены гиперпараметры алгоритма машинного обучения модели YOLOv8-seg для распознавания, классификации и сегментации изображений цветков яблони. Установлено, что модели YOLOv8x-seg (метрика mAP50 = 0,591) и YOLOv8l-seg (метрика mAP50 = 0,584) показывают более высокую производительность при распознавании цветков яблони. Скорость обработки кадров (Frame Rate, FR) моделями сверочных нейронных сетей составила от 10,27 (модель YOLOv8x-seg) до 57,32 кадра/с (модель YOLOv8n-seg). Средняя абсолютная ошибка моделей при распознавании цветков яблони и подсчете их количества на тестовой выборке не превышает 9 %.

Ключевые слова: *трансферное обучение, распознавание цветков яблони, прореживание, машинное обучение, компьютерное зрение, цифровой мониторинг*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № FGUN-2022-0011).
Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.
Для цитирования: Кутырёв А. И. Сверточная нейронная сеть для сегментации цветков яблони на изображениях. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):949–961. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.949-961

Поступила: 13.05.2024 Принята к публикации: 30.09.2024 Опубликована онлайн: 30.10.2024

Convolutional neural network for segmentation of apple blossoms in images

© 2024. Alexey I. Kutyrev✉
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The article provides a method for assessing the intensity of apple blossom for the thinning technological operation, including dataset preparation and training of YOLOv8-seg convolutional neural network models (n, s, m, l, x) for image segmentation. Transfer learning technique was applied in the research, utilizing pretrained models on the COCO dataset (Common Objects in Context). The apple blossom image dataset was captured using a GoPro HERO 11 camera. Image annotation was performed on the Roboflow platform using tools for bounding box and polygon annotation and labeling. To expand the dataset and improve the models' generalization during training, augmentation of original images was conducted, including horizontal flipping, horizontal rotation by 90°, rotation from -15° to +15°, adding noise up to 5% of pixels, blurring up to 2.5 pixels, horizontal and vertical shifts from -10° to 10°, and color hue adjustment from -15° to +15°. Binary classification metrics such as Precision and Recall were used to evaluate the performance of trained models in recognizing apple blossoms in images using bounding boxes and mask segmentation. The Loss(Box/Mask) loss function was used to assess model errors in determining bounding boxes and segmentation masks of objects in images during training. The hyperparameters of the YOLOv8-seg model for image recognition, classification, and segmentation of apple blossom images were identified through the conducted research. It was determined that the YOLOv8x-seg (mAP50 metric = 0.591) and YOLOv8l-seg (mAP50 metric = 0,584) models demonstrate higher performance in apple blossom recognition. The frame processing speed (Frame Rate, FR) of convolutional neural network models ranged from 10.27 (YOLOv8x-seg model) to 57.32 (YOLOv8n-seg model). The average absolute error of the models in recognizing apple blossoms and counting their quantity in the test dataset does not exceed 9 %.

Keywords: *transfer learning, apple blossom recognition, thinning, machine learning, computer vision, digital monitoring*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. FGUN-2022-0011).

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

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

For citations: Kutyrev A. I. Convolutional neural network for segmentation of apple blossoms in images. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):949–961. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.949-961

Received: 13.05.2024 Accepted for publication: 30.09.2024 Published online: 30.10.2024

Интенсивность цветения яблони имеет ключевое значение для оценки последующего формирования плодов, зависит от множества факторов, включая погодные условия, состояние почвы и растения [1, 2]. Избыточное цветение и, как следствие, излишнее количество плодов у яблоневых деревьев вызвано стремлением растений максимизировать вероятность опыления и размножения в изменчивых условиях окружающей среды. Научные исследования, проведенные в данной области, подтверждают, что своевременное и систематическое проведение операции прореживания цветков яблони обеспечивает ежегодную продуктивность с прогнозируемым качеством плодов и оказывает существенное влияние на сроки начала плодоношения и устойчивость кроны [3].

В настоящее время лишние цветки удаляются механическим, химическим и ручным прореживанием [4]. Процесс прореживания характеризуется высокой степенью неточности, в значительной степени зависит от опыта агронома. Решения о прореживании принимаются на основе результатов проведения трудоемкого ручного подсчета случайно выбранных деревьев в саду и последующей экстраполяции полученных оценок на остальную площадь сада. Агрономы подсчитывают количество цветков и завязей во время цветения, приходящихся на одно дерево, и определяют размеры плодов перед сбором [5]. Проводится оценка количества цветков и завязей, которые приходятся на поперечное сечение ствола дерева путем измерения окружности ствола на расстоянии 30 см над местом прививки [6]. Прореживание цветков рекомендуется проводить на начальных стадиях цветения, что позволяет распределить питательные вещества между оставшимися цветками и обеспечить более качественное плодоношение [7].

Использование RGB-камер, современных алгоритмов машинного обучения и компьютерного зрения, основанных на глубоких сверточных нейронных сетях (CNN), предоставляет эффективные решения для распознавания биологических объектов с учетом их пространственного положения и формы [8]. Разработка метода, способного повысить точность оценки интенсивности цветения для управления урожайностью сада, позволит более эффективно проводить процесс прореживания.

Цель исследования – трансферное обучение (transfer learning) модели сверточной нейронной сети (Segmentation Convolutional Neural Networks, Seg-CNN) для сегментации цветков яблони на изображениях для оценки интенсивности цветения.

Научная новизна – разработан метод оценки интенсивности цветения яблони для выполнения технологической операции прореживания, включающий подготовку набора данных (dataset) с аугментацией размеченных изображений для расширения обучающего набора, анализ и выбор оптимальных гиперпараметров, обучение моделей сверточной нейронной сети YOLOv8-seg, валидацию, тестирование моделей и оценку результатов распознавания.

Материал и методы. В исследованиях ученых предложены различные способы оценки интенсивности цветения яблони с использованием систем технического зрения с различными типами сенсоров и алгоритмов обработки полученных данных. Большинство способов основано на цветовой пороговой обработке, которые осложняются переменными условиями освещения. Естественная густота цветков яблони на изображениях затрудняет процесс их распознавания по цвету из-за взаимного перекрытия или препятствий в виде листьев [9]. Предложены методы учета цветения, основанные на использовании экрана, расположенного за рядом деревьев на заднем плане [10]. На основе предположения об увеличении фотосинтетической активности плодовых деревьев в период цветения разрабатывались системы обработки спектральной информации. Значительная вариация спектральных данных от различных растений усложняет установление общих паттернов и выделения важных характеристик, требует сложных методов анализа [11, 12]. Применение метода опорных векторов

(Support vector machine, SVM), основанного на морфологических характеристиках растений, ограничено сложностью выбора признаков и интерпретацией результатов, чувствительностью к шуму и необходимостью тщательной настройки параметров. Для более точного распознавания и классификации биологических объектов в садоводстве, а также анализа сложных текстур применялись глубокие сверточные нейронные сети (Deep CNN), такие как ResNet, Inception и VGG, а также рекуррентные нейронные сети (RNN) и рекуррентные сверточные нейронные сети (RCNN) для оценки динамики развития растений [13, 14].

Существующие модели сверточных нейронных сетей (CNN), такие как YOLO (You Only Look Once), Faster R-CNN (Faster Region-based Convolutional Neural Network), SSD (Single Shot MultiBox Detector), Mask R-CNN, R-FCN (Region-based Fully Convolutional Networks), RetinaNet RFCN (Region-based Fully Convolutional Network), DetNet (Detection Network), Deformable Convolutional Networks, NAS-FPN (Neural Architecture Search for Feature Pyramid Networks) и другие позволяют распознавать биологические объекты на изображениях и классифицировать их с использованием прямоугольных ограничивающих рамок (bounding boxes). Анализ проведенных исследований показал, что ограничивающие рамки не всегда позволяют достаточно точно распознать границы биологических объектов на изображениях в кроне деревьев из-за их взаимного перекрытия или препятствий в виде листьев. Ограничивающие рамки захватывают избыточную площадь вокруг биологических объектов, что снижает точность оценки занимаемой ими площади на изображении [15, 16]. Для более эффективного подсчета количества цветков следует использовать методы масочной сегментации, которые позволяют выделить каждый цветок как отдельный объект и провести точный подсчет.

Анализ существующих моделей сверточных нейронных сетей показал, что современная модель YOLOv8-seg (You Only Look Once version 8 segmentation) обладает значительными преимуществами в производительности и в скорости обработки изображений в реальном времени. YOLOv8-seg обеспечивает детальную сегментацию объектов на изображениях различной сложности и масштабов на уровне пикселей, позволяет строить ограничивающие рамки и определять классы объектов на изображении за один проход (One-stage), что исключает необходимость в дополнительных вычислениях и постобработке результатов [17, 18, 19].

Архитектура модели YOLOv8 состоит из трех основных частей: Backbone, Neck и Head. Часть Backbone отвечает за извлечение признаков из входного изображения, 53 сверточных слоя, использует архитектуру CSPDarknet53 с частичными межэтапными соединениями для улучшения информационного потока между различными слоями. Часть Neck объединяет карты признаков из разных этапов Backbone, чтобы захватывать информацию в разных масштабах. Использован модуль C2f, который сочетает семантические признаки высокого уровня с пространственной информацией низкого уровня, что способствует улучшению точности распознавания объектов. Для обнаружения объектов разных размеров и масштабов на изображении также использована пирамидальная сеть признаков (Feature Pyramid Network). Часть Head состоит из нескольких сверточных слоев, за которыми следует ряд полносвязных слоев. Эти слои отвечают за прогнозирование ограничивающих рамок, оценку объектности (objectness scores) и вероятности классов для объектов, распознанных на изображении (рис. 1).

В исследованиях применена техника трансферного обучения, использованы предварительно обученные модели на наборе данных датасета COCO (Common Objects in Context). Датасет COCO включает более 330 тысяч изображений с разметкой, объектную сегментацию более чем 2,5 миллиона объектов в 80 классах, а также 91 категорию фоновых элементов для сегментации, включая цветы [20]. Техника трансферного обучения позволяет ускорить обучение моделей, используя знания, полученные из предварительного обучения на других наборах данных. Для обучения использованы современные модели YOLOv8-seg (n, s, m, l, x) с различным количеством параметров: «nano» (n) имеет 3,4 млн параметров; «small» (s) – 42,6 млн параметров; «medium» (m) – 110,2 млн параметров; «large» (l) – 220,5 млн параметров; «extra-large» (x) – 344,1 млн параметров. Данные модели обладают различной средней точностью распознавания объектов на наборе данных COCO с использованием ограничивающих рамок (mAPbox от 36,7 до 53,4) и масок сегментации (mAPmask от 30,5 до 43,4) (рис. 2).

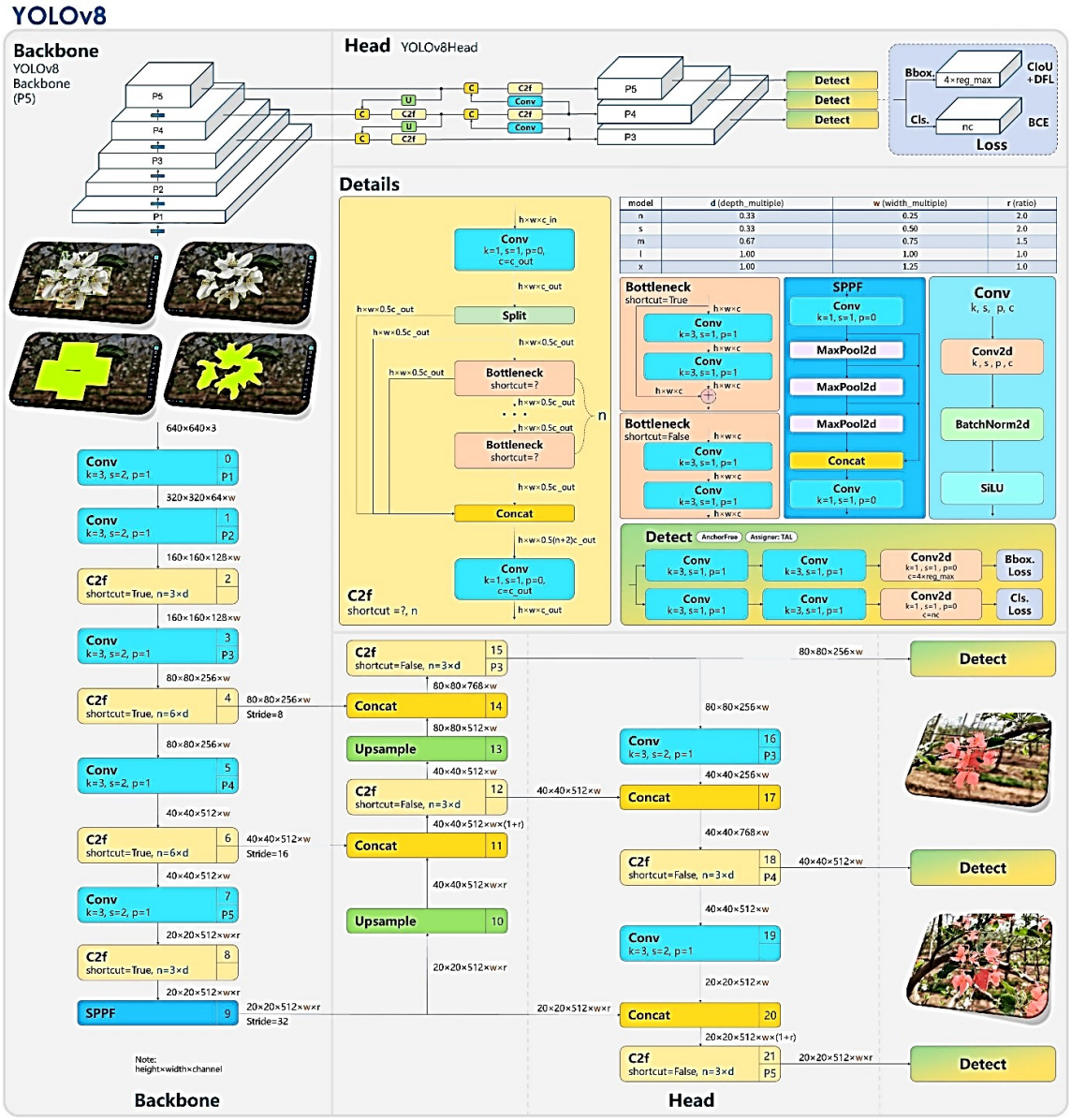


Рис. 1. **Архитектура модели сверточной нейронной сети YOLOv8 /**
Fig. 1. **The architecture of the YOLOv8 convolutional neural network model**

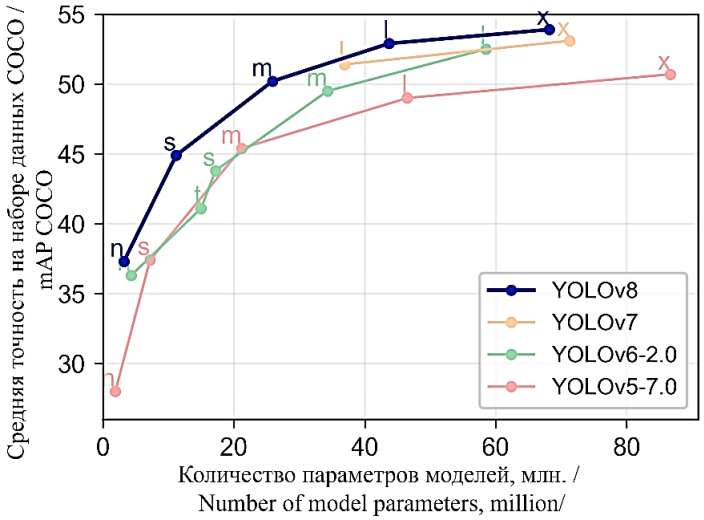


Рис. 2. **Средняя точность моделей YOLOv5-YOLOv8 (n, s, m, l, x) на наборе данных COCO /**
Fig. 2. **The average accuracy of the YOLOv5-YOLOv8 (n, s, m, l, x) models on the COCO dataset**

Набор изображений для обучения моделей нейронных сетей был собран с использованием камеры GoPro HERO 11. Матрица камеры обладает разрешением в 27 мегапикселей, разрешение фотографий 5312x2988 пикселей (широкоугольный объектив). Процесс получения изображений включал съемку с трех различных расстояний до цветущих деревьев: менее 0,2 м, от 0,2 м до 0,6 м и более 0,6 м (рис. 3).

Аннотация (разметка) изображений была выполнена на платформе Roboflow с применением инструментов выделения прямоугольных рамок (Bounding-box) и аннотации полигонов (Polygon Annotation and Labeling). Выделены контуры цветков яблони, указаны сегменты цветков на изображениях (рис. 4).

Аннотации представлены в форме бинарных масок, где каждый пиксель отмечен значением 1, если он соответствует объекту, и значением 0, если фоновый пиксель. Всем размеченным цветкам яблони был присвоен класс «apple-flowers». Данные, включая координаты и класс, сохранены в формате JSON для последующего использования их при обучении моделей.



Рис. 3. **Примеры изображений, полученных с различных расстояний до цветущих деревьев яблони /**
Fig. 3. **Examples of images captured from various distances to flowering apple trees**

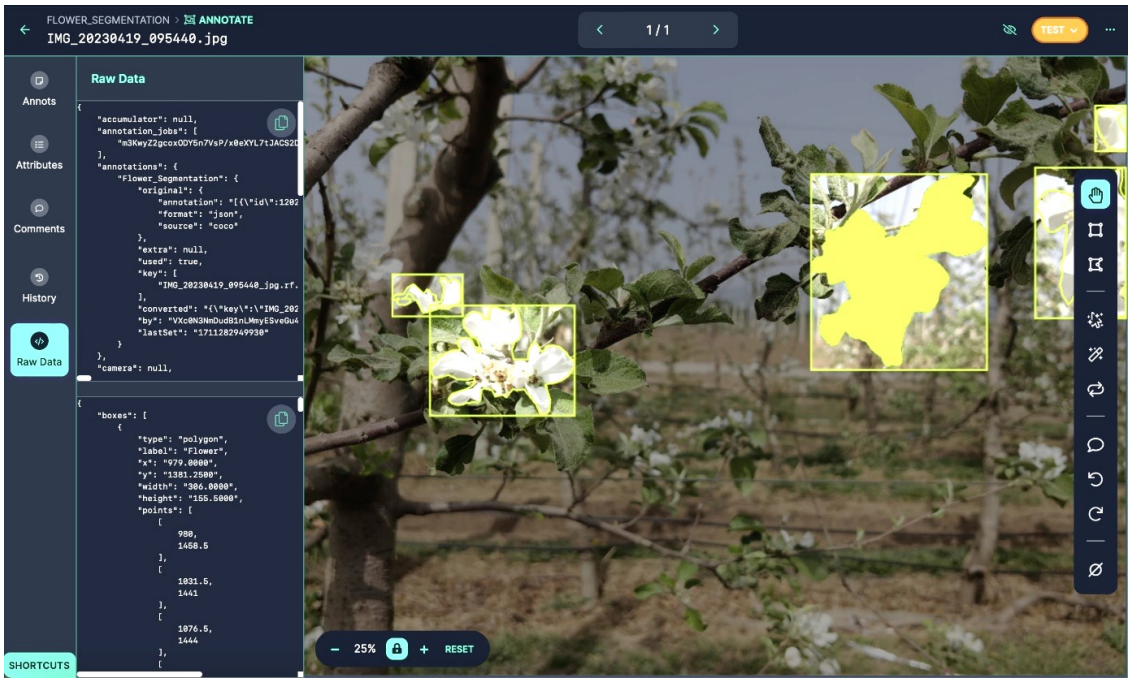


Рис. 4. **Разметка изображений с применением инструмента выделения прямоугольных рамок (Bounding-box) и инструмента аннотации полигонов (Polygon Annotation and Labeling) /**
Fig. 4. **Image annotation using the bounding-box tool and the polygon annotation and labeling tool**

Для расширения набора данных и повышения обобщающей способности моделей при обучении была проведена аугментация размеченных изображений, размер которых был уменьшен до 640x640 пикселей в соответствии с требованиями архитектуры моделей YOLO (Resize). Этот процесс включал горизонтальное отражение (Flip), горизонтальный поворот на 90° (Rotate), поворот от -15° до +15° (Rotation), добавление шумов до 5 % пикселей (Noise), размытие до 2,5 пикселей (Blur), горизонтальные и вертикальные сдвиги от -10° до 10° (Shear), а также изменение оттенка цветов от -15° до +15° (Hue) (рис. 5).

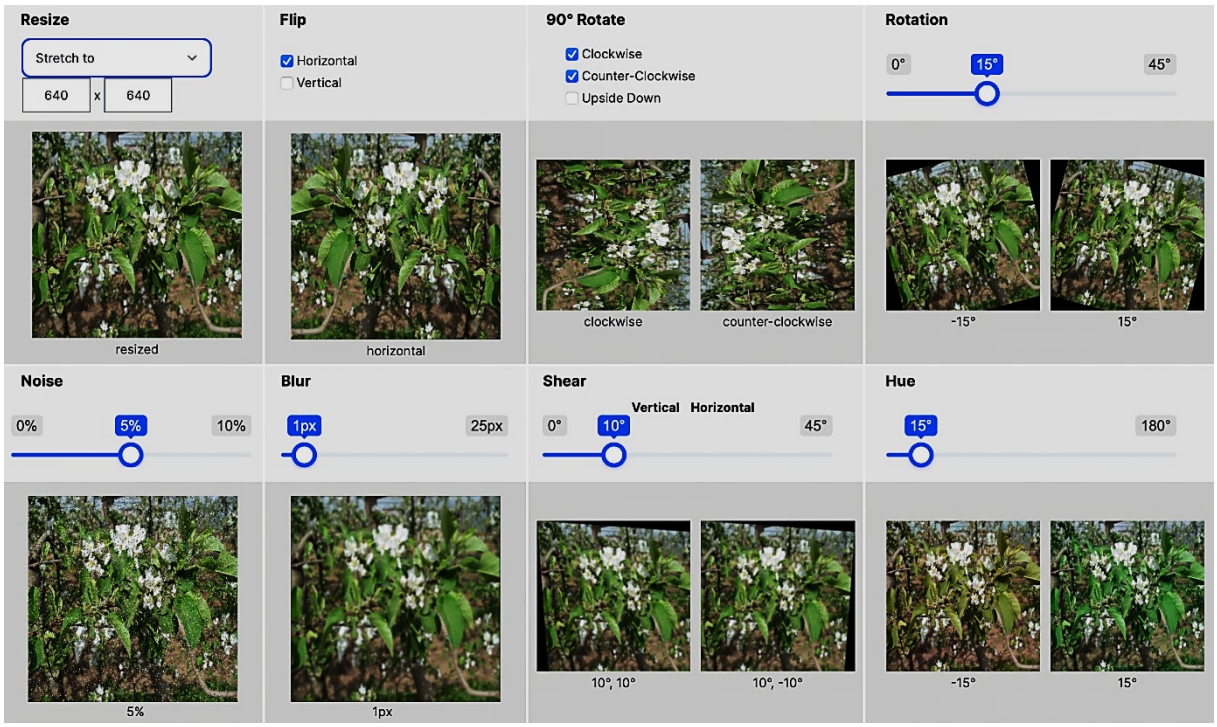


Рис. 5. **Аугментация изображений цветков яблони /**
Fig. 5. **Augmentation of apple blossom images**

После получения размеченного набора данных (2500 шт. изображений) проведено их разделение на три независимые подвыборки. Обучающая выборка (70 %, 1750 шт. изображений) использована для обучения моделей. Валидационная выборка (20 %, 500 шт. изображений) использована для настройки гиперпараметров моделей и оценки производительности во время обучения. Тестовая выборка (10 %, 250 шт. изображений) использована для окончательной оценки производительности модели после её обучения (рис. 6).

Такое разделение данных помогает оценить производительность моделей на разных этапах их разработки и настроить гиперпараметры для достижения оптимальной производительности. Построена карта разметки данных (Annotation hitmap), которая показывает плотность разметки объектов на изображении, что помогает анализировать распределение объектов в наборе данных и оценивать качество разметки.

Метрики бинарной классификации, такие как Precision (точность) и Recall (полнота) [21] использованы для оценки качества работы обученных моделей по распознаванию цветков яблони на изображениях при применении ограничивающих рамок и масочной сегментации, рассчитаны по формулам (1) и (2) (расчеты проведены в соответствии с ГОСТ Р 70462.1-2022[1]):

$$\text{Precision (точность)}_{\frac{\text{Box}}{\text{Mask}}} = \frac{\text{TP}_{\text{Box/Mask}}}{\text{TP}_{\text{Box/Mask}}+\text{FP}_{\text{Box/Mask}}}, \quad (1)$$

$$\text{Recall (полнота)}_{\frac{\text{Box}}{\text{Mask}}} = \frac{\text{TP}_{\text{Box/Mask}}}{\text{TP}_{\text{Box/Mask}}+\text{FN}_{\text{Box/Mask}}}, \quad (2)$$

где $\text{TP (true positive)}_{\text{Box/Mask}}$ – количество верно обнаруженных ограничивающих рамок или пикселей масок объектов;

$\text{FP (false positive)}_{\text{Box/Mask}}$ – количество ложноположительных ограничивающих рамок или пикселей масок объектов;

$\text{FN (false negative)}_{\text{Box/Mask}}$ – количество ложноотрицательных ограничивающих рамок или пикселей масок объектов.

[1]ГОСТ Р 70462.1-2022. Информационные технологии. Интеллект искусственный. Оценка робастности нейронных сетей. Ч. 1. Обзор. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 32 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data/790/79058.pdf

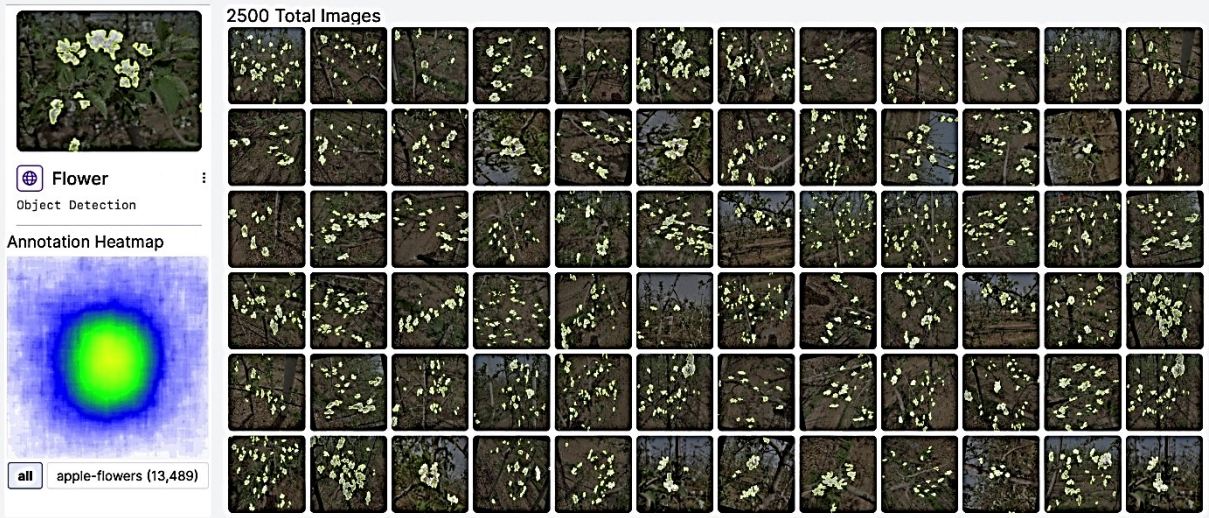


Рис. 6. **Датасет размеченных изображений цветков яблони /**
Fig. 6. **Labeled dataset of apple blossom images**

Метрика Mean Average Precision (mAP) использована для расчета средней точности, установлена путем определения площади под кривой Precision-Recall (точность-полнота, формула 3).

$$\mathrm{mAP_{Box/Mask}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N} \mathrm{AP_{Box,i/Mask,i}}, \quad (3)$$

где N – количество классов объектов; $\mathrm{AP_{Box,i/Mask,i}}$ – площадь под кривой Precision-Recall (точности-полноты) для каждого класса i при использовании ограничивающих рамок ($\mathrm{AP_{Box,i}}$) или масок сегментации ($\mathrm{AP_{Mask,i}}$).

Метрика mAP учитывает точность и полноту при обнаружении объектов, оценивая обобщенную производительность модели. Более высокое значение mAP свидетельствует о более точном распознавании объектов заданных классов на изображениях. ·

Метрика IoU (Intersection over Union) вычислена путем деления площади пересечения ограничивающих рамок или масок на площадь их объединения, по формуле:

$$\mathrm{IoU_{Box/Mask}} = \frac{\mathrm{A_{intersection\ Box/Mask}}}{\mathrm{A_{union\ Box/Mask}}}, \quad (4)$$

где $\mathrm{A_{intersection\ Box/Mask}}$ – площадь области; образованной пересекающимися сторонами или пикселями; $\mathrm{A_{union\ Box/Mask}}$ – сумма площадей предсказанных и истинных областей, найденная по формуле:

$$\mathrm{A_{union\ Box/Mask}} = \mathrm{A_{predicted\ Box/Mask}} + \\ + \mathrm{A_{ground\ truth\ Box/Mask}} - \mathrm{A_{intersection\ Box/Mask}}. \quad (5)$$

Если коэффициент пересечения между предсказанной и истинной областями превышает заранее заданный порог, например 50 %, то распознавание считается успешным.

Функция потерь $\mathrm{Loss_{Box/Mask}}$ использована для оценки ошибок модели в определении ограничивающих рамок или масок объектов на изображении в процессе обучения с целью минимизации расхождений между предсказанными и фактическими (размеченными) значениями:

$$\mathrm{Loss_{Box/Mask}} = \lambda_{\mathrm{coord}} \sum_{i=0}^{S^2}\sum_{j=0}^{B} 1_{ij}^{\mathrm{obj}} \cdot \\ \cdot \mathrm{MSE}(x_i, \hat{x}_i, y_i, \hat{y}_i, w_i, \hat{w}_i, h_i, \hat{h}_i / M_i, \hat{M}_i), \quad (6)$$

где λ_{coord} – коэффициент для балансировки компонентов функции потерь; S – размер сетки (grid size); B – количество предсказанных ограничивающих рамок на каждой ячейке сетки; i – индекс ячейки сетки; j – индекс предсказанной ограничивающей рамки в ячейке сетки; 1_{ij}^{obj} –индикаторная функция принимает значение, равное 1, если ограничивающая рамка j в ячейке сетки i отвечает за объект, MSE – среднеквадратичная ошибка (Mean Squared Error) между предсказанными и истинными значениями координат (x_i, $\hat{x}_i$, y_i, $\hat{y}_i$, w_i, $\hat{w}_i$, h_i, $\hat{h}_i$) или сегментационных масок (M_i, $\hat{M}_i$).

Скорость обработки кадров (Frame Rate, FR) моделями сверочных нейронных сетей определяли по формуле:

$$\mathrm{FR} = \frac{1}{T_{\mathrm{cp}}}, \quad \text{где} \quad (7)$$

T_{cp} – среднее время обработки одного кадра, мс.

Для обучения сверточных нейронных сетей и анализа данных использовали различные программные инструменты и библиотеки. Фреймворки CUDA 12.2, TensorFlow 2.15.0, TensorBoard 2.15.0 и Keras 2.15.0 были использованы для реализации и обучения моделей нейронных сетей. PyArrow 10.0.1 применяли для обработки и анализа больших объемов

данных. Библиотеки JAX 0.4.23 и JAXLib 0.4.23 обеспечивали возможность численных вычислений с автоматическим дифференцированием и ускорением на GPU. Библиотека NumPy использовалась для работы с многомерными массивами и математическими функциями, такими как вычисление площади, библиотека OpenCV – для обработки изображений, преобразования цветовых пространств, поиска контуров, библиотека matplotlib – для визуализации данных в виде графиков и диаграмм, библиотека tqdm – для отображения прогресса выполнения итераций обучения.

Обучение моделей нейронных сетей проводили на компьютере с процессором Intel Core i9-10900X с тактовой частотой 3.70 ГГц, видеокартой GeForce RTX 2080TI с 11 ГБ памяти (2 шт.), материнской платой GIGABYTE X299 UD4 Pro, SSD-накопителем Intel PCI-E на 1 ТБ и модулем памяти Kingston DDR4 DIMM емкостью 32 ГБ (4 шт.).

Результаты и их обсуждение. В результате экспериментальных исследований были определены оптимальные параметры для обучения моделей нейронных сетей YOLOv8n-seg – YOLOv8x-seg. Размер изображений, подаваемых на вход, составил 640x640 пикселей, количество эпох обучения установлено равным 100. Параметр терпимости (Patience), который определяет количество эпох, в течение которых обучение модели продолжается без изменений в производительности на валидационном наборе данных, составил 10 эпох. Размер пакета данных (Batch Size), определяющий количество изображений, обрабатываемых параллельно на каждой итерации обновления весов модели, был также установлен на уровне 10. Примеры распознавания, классификации и сегментации цветков яблони на изображениях тестового набора данных модели YOLOv8x-seg представлены на рисунке 7.



Рис. 7. **Результаты распознавания, классификации и сегментации цветков яблони на изображениях при различных расстояниях до кроны: а – менее 0,2 м, б – от 0,2 м до 0,6 м, в – более 0,6 м /**

Fig. 7. **The results of apple blossom recognition, classification, and segmentation on images at various distances from the canopy: a – less than 0.2 m, b – from 0.2 m to 0.6 m, c – more than 0.6 m**

Каждый распознанный цветок яблони на изображении был выделен путем создания ограничивающей рамки (box), после чего проведена классификация и сегментация. Каждый пиксель цветка яблони сегментирован, отмечен определенным цветом, что позволяет визуализировать результаты работы модели. Полученные графики mAP50(Box)-Epoch и mAP50(Mask)-Epoch показывают, как изменяется средняя точность (mAP) при 50 %-ном пороговом значении IoU (Intersection over Union) в зависимости от эпохи обучения (рис. 8).

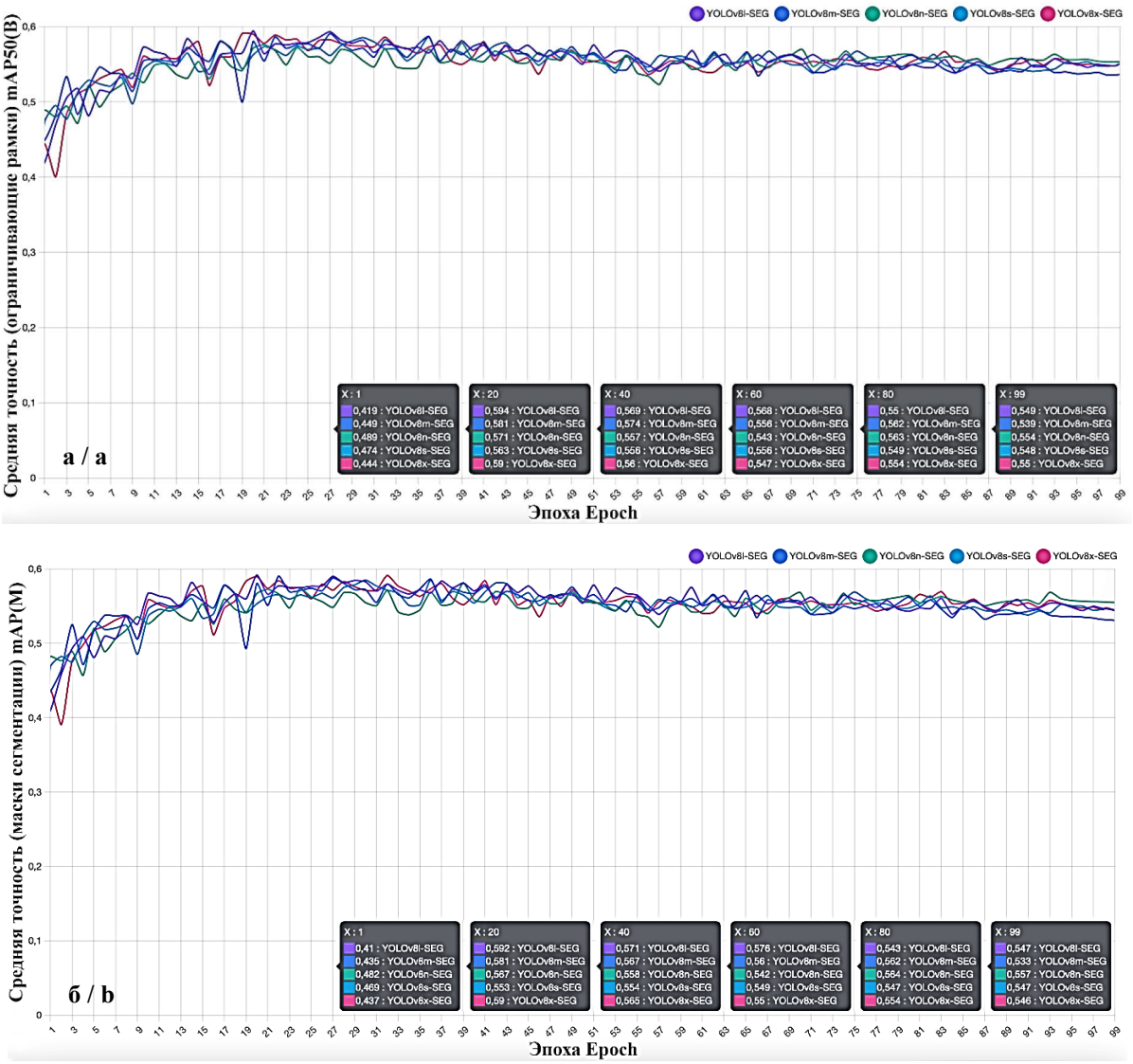


Рис. 8. **Кривые оценки метрики средней точности в зависимости от эпохи обучения: а – средняя точность при распознавании ограничивающих рамок (mAP50 bounding boxes) цветков яблони; б – средняя точность при распознавании сегментирующих масок (mAP50 segmentation masks) цветков яблони /**

Fig. 8. **Curves for estimating the average accuracy metric depending on the learning epoch: a – average accuracy in recognizing mAP50 bounding boxes apple tree blossoms; b – average accuracy in recognizing mAP50 segmentation masks apple tree blossoms**

Для каждой итерации обучения провели оценку точности распознавания с применением ограничивающих рамок и сегментационных масок. После анализа полученных результатов определили оптимальную эпоху обучения (36), при которой модели достигали наилучшей производительности.

В процессе обучения моделей были построены кривые потерь для ограничивающих рамок и сегментационных масок, отражающие динамику изменений функции потерь в течение каждой итерации обучения (рис. 9).

Полученные кривые Loss(Box/Mask) – Epoch позволяют определить целесообразность дальнейшего обучения моделей, отражают способность моделей снижать ошибки в распознавании объектов и помогают предотвратить переобучение (overfitting), при котором модель подстраивается под обучающие данные, теряя способность обобщать знания на новые данные.

Установлено, что функция потерь достигает минимума на 34-й эпохе обучения и остается практически неизменной с 34 по 47 эпохи. Начиная с 47-й эпохи, наблюдается увеличение потерь. Оптимальное количество эпох обучения было определено с использованием стратегии ранней остановки обучения (early stopping), которая прекращает процесс обучения, когда производительность модели на валидационной выборке перестает улучшаться в течение заданного числа итераций.

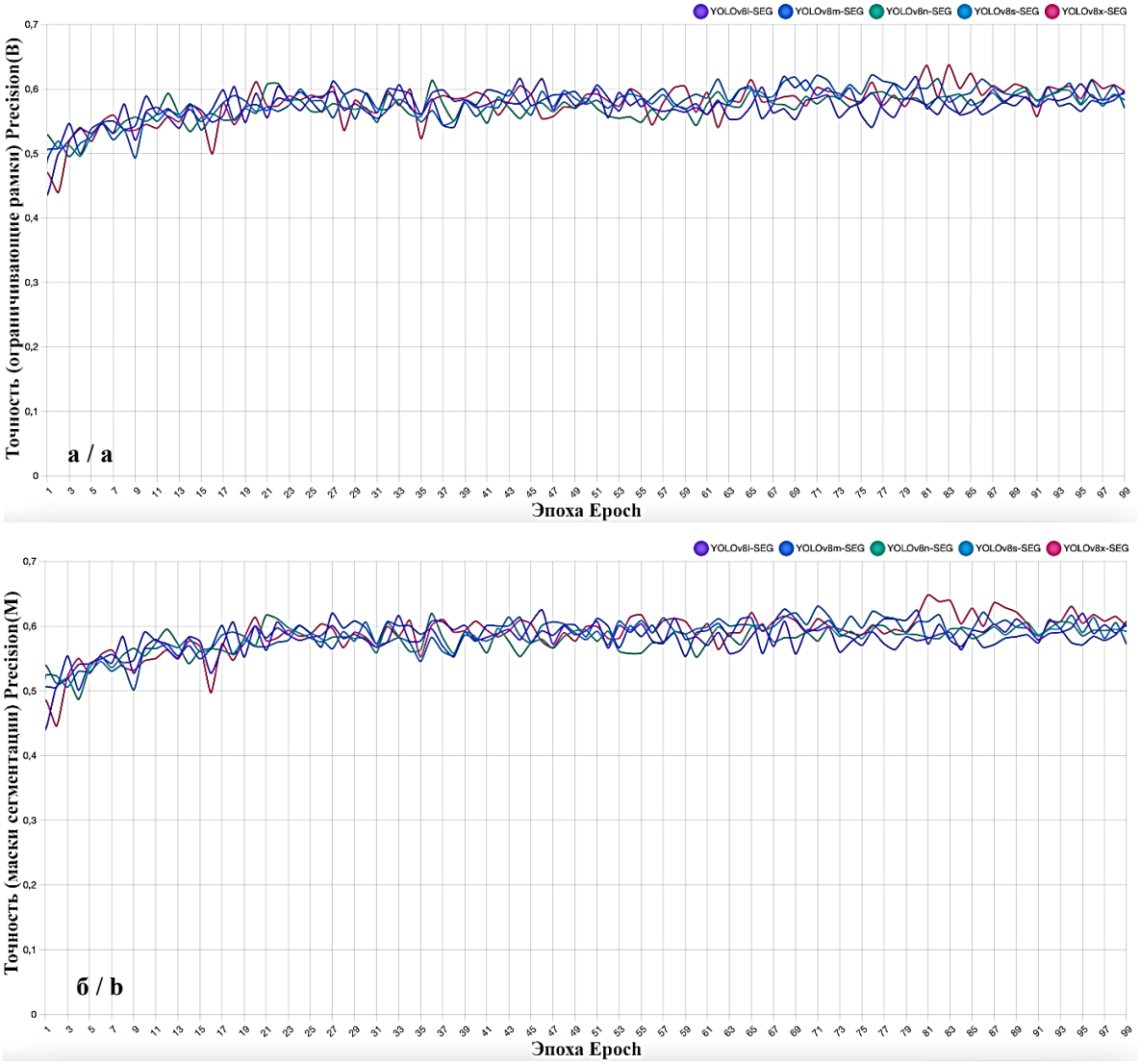


Рис. 9. **Кривые изменения функции потерь в зависимости от эпохи обучения: а – потери при распознавании ограничивающих рамок (Box Loss) цветков яблони; б – потери при распознавании сегментирующих масок (Seg Loss) цветков яблони /**

Fig. 9. **Curves of loss function changes depending on the training epochs: a – losses in bounding box recognition (Box Loss) apple tree blossoms; b – losses in segmentation mask recognition (Seg Loss) apple tree blossoms**

Полученные в процессе обучения данные о точности (Precision) и полноте (Recall) моделей использовали для вычисления средней точности (mAP50) как при использовании ограничивающих рамок (Box), так и сегментирующих масок (Mask) (табл.).

Установлено, что модели YOLOv8x-seg (mAP50 0,591) и YOLOv8l-seg (mAP50 0,584) показывают более высокую производительность по всем метрикам, чем модель YOLOv8n-seg (mAP50 0,577), что связано с количеством используемых параметров данных моделей. Большинство моделей показывают незначительное снижение точности распознавания масок сегментации (Mask) по сравнению с точностью распознавания ограничивающих рамок (Box), что объясняется более сложным процессом получения маски для каждого пикселя изображения. Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного метода и его способность к точному распознаванию цветков яблони. Сравнение результатов эффективности работы моделей YOLOv8-seg (n, s, m, l, x) на наборе данных COCO (рис. 1) с результатами, полученными в данном исследовании, показывает превосходство моделей, обученных с использованием метода трансферного обучения в средних показателях точности при распознавании цветков яблони.

Модель YOLOv8n-seg показала наиболее высокую среднюю скорость обработки кадров (57,32 кадра/с), что является основным показателем при работе на менее мощных вычислительных системах. Средняя скорость обра-

ботки кадров модели YOLOv8s-seg составила 32,56 кадра/с, YOLOv8m-seg 18,92 кадра/с, YOLOv8l-seg 15,6 кадра/с и YOLOv8x-seg 10,27 кадра/с.

Таблица – **Результаты вычисления метрик для бинарной классификации при использовании ограничивающих рамок и масок сегментации /**
Table – **The results of calculating metrics for binary classification using bounding boxes and segmentation masks**

Метод распознавания / Recognition method	*Метрика точности / Precision Metric*	*Метрика полноты / Recall metric*	*Метрика средней точности / mAP50 metric*
Модель YOLOv8n-seg / Model YOLOv8n-seg			
Ограничивающие рамки (Box) / Bounding Boxes (Box)	0,583	0,576	0,579
Маски сегментации (Mask) / Segmentation Masks (Mask)	0,572	0,578	0,577
Модель YOLOv8s-seg / Model YOLOv8s-seg			
Ограничивающие рамки (Precision Box) / Bounding Boxes (Precision Box)	0,57	0,579	0,580
Маски сегментации (Mask) / Segmentation Masks (Mask)	0,607	0,566	0,579
Модель YOLOv8m-seg / Model YOLOv8m-seg			
Ограничивающие рамки (Box) / Bounding Boxes (Box)	0,597	0,564	0,582
Маски сегментации (Mask) / Segmentation Masks (Mask)	0,592	0,582	0,581
Модель YOLOv8l-seg / Model YOLOv8l-seg			
Ограничивающие рамки (Box) / Bounding Boxes (Box)	0,596	0,578	0,586
Маски сегментации (Mask) / Segmentation Masks (Mask)	0,599	0,585	0,584
Модель YOLOv8x-seg / Model YOLOv8x-seg			
Ограничивающие рамки (Box) / Bounding Boxes (Box)	0,593	0,577	0,594
Маски сегментации (Mask) / Segmentation Masks (Mask)	0,602	0,575	0,591

Для сравнения точности распознавания цветков яблони моделью YOLOv8x-seg при использовании ограничивающих рамок и масок сегментации был проведен расчет суммарной площади, занимаемой распознанными цветками яблони на изображениях тестовой выборки. Разработан скрипт Python в среде PyCharm CE с использованием библиотек OpenCV (cv2) и NumPy (np), который позволяет автоматизировать анализ изображений (рис. 10).

Скрипт преобразует изображения в цветовую модель HSV (Hue, Saturation, Value). Используя заданные диапазоны цветов, скрипт позволяет определить пиксели, занятые цветками, находит их контуры, рассчитывает площади и добавляет найденные параметры на маску, после чего маска применяется к исходному изображению для визуализации и анализа результатов. В скрипт добавлено исключение площади текстовых меток объектов (текст с наименованием классов и пороговых значений) и линий из общей площади ограничивающих рамок. В результате проведенных исследований определено, что среднее количество пикселей, распознанных с помощью модели YOLOv8x-seg в ограничивающих рамках тестового набора данных, превышает среднее количество пикселей сегментов цветков яблони на 37,2 %. Маски сегментации позволяют определить класс, к которому принадлежит каждый пиксель изображения, более детально учитывая форму и точно определяя границы цветков яблони, в то время как ограничивающие рамки определяют только прямоугольную область вокруг цветков яблони с избыточной площадью.

Предлагаемый метод сегментации, основанный на алгоритме машинного обучения, обеспечивает возможность морфологического анализа изображений и выявления маркерных признаков объектов с высоким пространственным разрешением. Средняя абсолютная ошибка моделей YOLOv8-seg (n, s, m, l, x) при подсчете количества цветков яблони на изоб-

ражениях тестовой выборки не превышает 9 %. Оценка интенсивности цветения с помощью алгоритмов машинного обучения основывается на следующих критериях: площадь цветков, измеряемая с помощью сегментации на изображениях; количество цветков на дереве, определяемое путём подсчёта сегментированных объектов; плотность цветков, оцениваемая как доля цветков на единицу площади кроны дерева; динамика цветения, определяемая на основе данных, собранных в разные временные периоды.

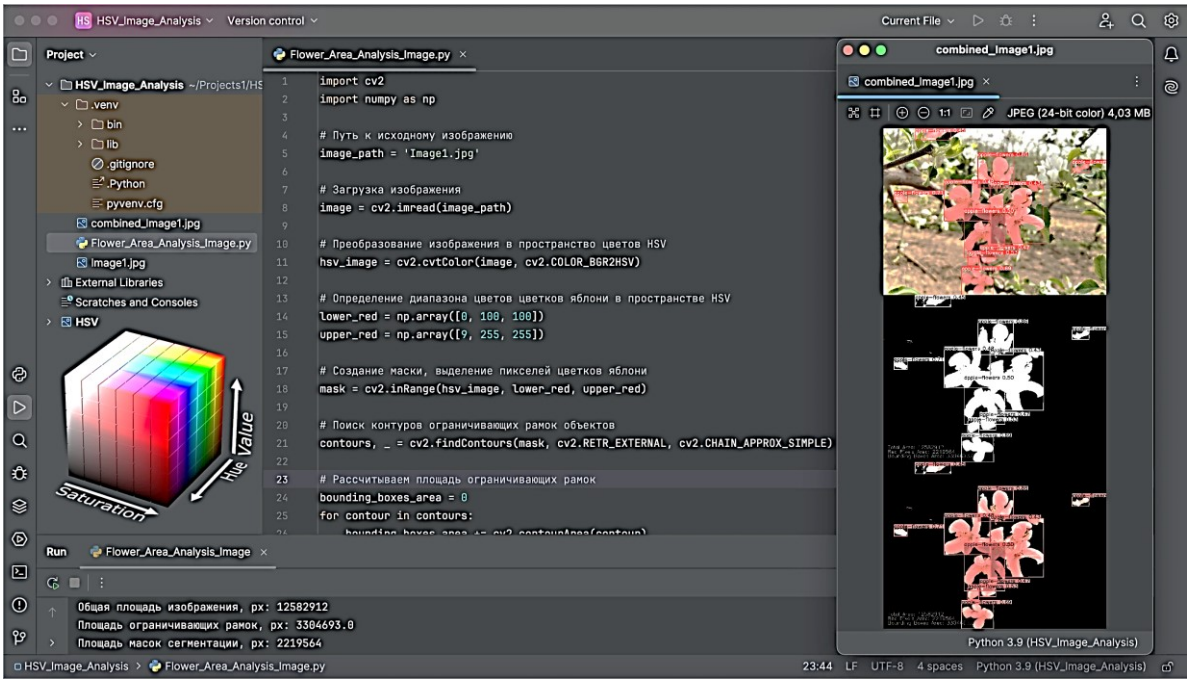


Рис. 10. **Результаты сравнения точности распознавания суммарной площади цветков яблони с помощью ограничивающих рамок и масок сегментации, скрипт Python в среде PyCharm CE /**

Fig. 10. **The results of comparing the accuracy of recognizing the total area of apple blossom flowers using bounding boxes and segmentation masks were obtained using a Python script in the PyCharm CE environment**

Результаты исследований могут быть использованы для разработки роботизированных систем, способных к автономной оценке интенсивности цветения в промышленных садах. Для этого роботизированные платформы оснащаются RGB-камерами, которые с помощью компьютерного зрения и машинного обучения сегментируют и классифицируют цветки на деревьях [22]. Дальнейшее развитие метода может включать в себя работу с более разнообразными наборами данных, а также улучшение производительности моделей. Методы фотограмметрии в сочетании с координатными данными о расположении деревьев могут быть использованы для определения принадлежности цветков конкретным деревьям для массового фенотипирования растений в режиме реального времени. Съёмка с нескольких ракурсов позволит строить 3D-модели деревьев и привязывать к ним распознанные цветки, создавая детализированные модели сада [23]. В дальнейших исследованиях для определения общего количества цветков необходимо использовать алгоритмы трекинга (Deep SORT, SORT, BYTETrack, FairMOT и др.), которые учитывают частичное перекрытие цветков на изображениях с разных ракурсов. Инкрементальное расширение датасета, нормализация и автоматическая коррекция цвета изображений позволят алгоритмам адаптироваться к различным условиям освещения, обеспечивая более точное распознавание, классификацию и сегментацию.

Заключение. В результате проведенных исследований определены гиперпараметры алгоритма машинного обучения модели YOLOv8-seg для распознавания, классификации и сегментации изображений цветков яблони. Установлено, что модели YOLOv8x-seg (метрика mAP50 = 0,591) и YOLOv8l-seg (метрика mAP50 = 0,584) показали более высокую производительность при распознавании цветков яблони. Скорость обработки кадров (Frame Rate, FR) моделями сверочных нейронных сетей составила от 10,27 (модель YOLOv8x-seg) до 57,32 кадра/с (модель YOLOv8n-seg). Средняя абсолютная ошибка моделей при распознавании цветков яблони и подсчете их количества на тестовой выборке не превышает 9 %.

References

1. Pflanz M., Gebbers R., Zude M. Influence of tree-adapted flower thinning on apple yield and fruit quality considering cultivars with different predisposition in fructification. Acta Hortic. 2016;1130:605–611. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1130.90

2. Link H. Significance of flower and fruit thinning on fruitquality. Plant growth regulation. 2000;31(1):17–26. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1006334110068

3. Bhattarai U., Bhusal S., Majeed Y., Karkee M. Automatic Blossom Detection in Apple Trees Using Deep Learning. IFAC-PapersOnLine 2020;53(2):15810–15815. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.216

4. Lei X., Yuan Q., Xyu T., Qi Y., Zeng J., Huang K., et al. Technologies and Equipment of Mechanized Blossom Thinning in Orchards: A Review. Agronomy. 2023;13(11):2753. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy13112753

5. Robinson T. L., Gonzalez L., Cheng L., Ziang Y., Peck G., Arnoldussen B., et al. Studies in precision crop load management of apple. Acta Hortic. 2023;1366:219–226. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1366.25

6. Ahmed D., Sapkota R., Churuvija M., Karkee M. Machine Vision-Based Crop-Load Estimation Using YOLOv8. 2023. pp. 1–22 DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.13282

7. Anthony B., Serra S., Musacchi S. Optimizing Crop Load for New Apple Cultivar: "WA38". Agronomy. 2019;9(2):107. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy9020107

8. Sun K., Wang X., Liu S., Liu C. Apple, Peach, and Pear Flower Detection Using Semantic Segmentation Network and Shape Constraint Level Set. Computers and Electronics in Agriculture. 2021;185:106150. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106150

9. Chen Z., Su R., Wang Y., Chen G., Wang Z., Yin P., Wang J. Automatic Estimation of Apple Orchard Blooming Levels Using the Improved YOLOv5. Agronomy. 2022;12(10):2483. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy12102483

10. Aggelopoulou A. D., Bochtis D., Fountas S., Swain K. C., Gemtos T. A., Nanos G. D. Yield prediction in apple orchards based on image processing. Precision Agriculture. 2011;12(3):448–456. DOI: https://doi.org/10.1007/s11119-010-9187-0

11. Horton R., Cano E., Bulanon D., Fallahi E. Peach Flower Monitoring Using Aerial Multispectral Imaging. Journal of Imaging. 2017;3(1):2. DOI: https://doi.org/10.3390/jimaging3010002

12. Shurygin B., Smirnov I., Chilikin A., Khort D., Kutyrev A., Zhukovskaya S., Solovchenko A. Mutual Augmentation of Spectral Sensing and Machine Learning for Non-Invasive Detection of Apple Fruit Damages. Horticulturae. 2022;8(12):1111. DOI: https://doi.org/10.3390/horticulturae8121111

13. Wang X. A., Tang J., Whitty M. DeepPhenology: Estimation of Apple Flower Phenology Distributions Based on Deep Learning. Computers and Electronics in Agriculture. 2021;185:106123. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106123

14. Zhou X., Sun G., Xu N., Zhang X., Cai J., Yuan Y., Huang Y. A Method of Modern Standardized Apple Orchard Flowering Monitoring Based on S-YOLO. Agriculture. 2023;13(2):380. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture13020380

15. Yuan W., Hua W., Heinemann P. H., He L. UAV Photogrammetry-Based Apple Orchard Blossom Density Estimation and Mapping. Horticulturae. 2023;9(2):266. DOI: https://doi.org/10.3390/horticulturae9020266

16. Farjon G., Krikeb O., Hillel A. B., Alchanatis V. Detection and counting of flowers on apple trees for better chemical thinning decisions. Precision Agriculture. 2020;21(3):503–521. DOI: https://doi.org/10.1007/s11119-019-09679-1

17. Terven J., Córdova-Esparza D-M., Romero-González J-A. A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS. Machine Learning and Knowledge Extraction. 2023;5(4):1680–1716. DOI: https://doi.org/10.3390/make5040083

18. Wang J., Gao Z., Zhang Y., Zhou J., Wu J., Li P. Real-Time Detection and Location of Potted Flowers Based on a ZED Camera and a YOLO V4-Tiny Deep Learning Algorithm. Horticulturae. 2022;8(1):21. DOI: https://doi.org/10.3390/horticulturae8010021

19. Wu D. H., Lv S. C., Jiang M., Song H. B. Using channel pruning-based YOLO v4 deep learning algorithm for the real-time and accurate detection of apple flowers in natural environments. Computers and Electronics in Agriculture. 2020;178:105742. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105742

20. Lin T.-Y., Maire M., Belongie S., Hays J., Perona P., Ramanan D., et al. Microsoft coco: Common objects in context. In European conference on computer vision. Springer, 2014. pp. 740–755. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.1405.0312

21. Maxwell A. E., Warner T. A., Guillén L. A. Accuracy Assessment in Convolutional Neural Network-Based Deep Learning Remote Sensing Studies - Part 1: Literature Review. Remote Sensing. 2021;13(13):2450. DOI: https://doi.org/10.3390/rs13132450

22. Хорт Д. О., Кутырёв А. И., Смирнов И. Г., Моисеев Г. В., Соловьев В. И. Управление движением сельскохозяйственной автономной роботизированной платформы. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023;17(1):25–34. DOI: https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-25-34 EDN: UXTFRN

Khort D. O., Kutyrev A. I., Smirnov I. G., Moiseev G. V., Soloviev V. I. Agricultural Autonomous Robotic Platform Motion Control. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2023;17(1):25–34. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-25-34

23. Хорт Д. О., Кутырёв А. И., Смирнов И. Г., Воронков И. В. Разработка системы автоматизированного управления агротехнологиями в садоводстве. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021;15(2):61–68. DOI: https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-2-61-68 EDN: AQNSNT

Khort D. O., Kutyrev A. I., Smirnov I. G., Voronkov I. V. Development of an Automated Management System for Agricultural Technologies in Horticulture. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2021;15(2):61-68. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-2-61-68

Сведения об авторах

✉ **Кутырёв Алексей Игоревич,** кандидат техн. наук, заведующий лабораторией интеллектуальных цифровых систем мониторинга, диагностики и управления процессами в сельскохозяйственном производстве, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 1-й Институтский проезд, д.5, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7643-775X**, e-mail: alexeykutyrev@gmail.com

Information about the authors

✉ **Alexey I. Kutyrev,** PhD in Engineering, Head of the Laboratory of intelligent digital systems for monitoring, diagnostics and process management in agricultural production, leading researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institute passage, 5, Moscow, Russian Federation, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7643-775X**, e-mail: alexeykutyrev@gmail.com

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО

Юбилей Отари Назировича Дидманидзе



3 октября 2024 года исполнилось 70 лет со дня рождения Отари Назировича Дидманидзе – академика РАН, заслуженного работника высшей школы РФ, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, профессора, заведующего кафедрой тракторов и автомобилей РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, члена редакционного совета научного журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока».

Академик О. Н. Дидманидзе – известный ученый в области механизации сельского хозяйства и эксплуатации транспортных средств, ресурсосбережения в производственных процессах агропромышленного комплекса. Его научные интересы – исследования проблем рационального использования транспорта и транспортно-технологических средств, в том числе на электрической тяге, системный подход, тракторы и автомобили, сельскохозяйственные машины, альтернативные виды энергии, электроагрегаты, техническая эксплуатация. Под руководством О. Н. Дидманидзе разработаны положения по оптимизации производственных процессов при возделывании картофеля, зерновых и плодовых культур, чая, винограда, а также заготовке кормов и производству посадочного материала.

О. Н. Дидманидзе успешно совмещает исследовательскую деятельность с педагогической. Сотрудники кафедры тракторов и автомобилей под руководством О. Н. Дидманидзе вносят весомый вклад в подготовку инженерных и научно-педагогических кадров АПК, активно сотрудничают с ведущими отечественными и зарубежными производителями сельскохозяйственной техники, реализуют научно-исследовательские и образовательные проекты с Беларусью, Индией, Бенина и другими государствами. Академик О. Н. Дидманидзе является главным организатором ежегодного Международного научного семинара «Чтения академика В. Н. Болтинского».

Отари Назирович – автор более 400 печатных работ, в том числе 60 монографий, 80 учебников и учебных пособий. Имеет 40 авторских свидетельств и патентов. Индекс Хирша – 56.

Научная школа О. Н. Дидманидзе «Ресурсосбережение в сельскохозяйственных производственных процессах» объединяет научные коллективы многих НИИ и вузов. Под его руководством защищено 20 докторских и более 50 кандидатских диссертаций.

Поздравляя Отари Назировича с юбилеем, благодарим за многолетние добрые товарищеские отношения, многогранное сотрудничество на страницах научного журнала «Аграрная наука Северо-Востока» по распространению и продвижению высокотехнологичных агроинженерных достижений.

С юбилеем, Отари Назирович!
Будьте здоровы, созидайте и вдохновляйте!

Главный редактор, академик РАН
В. А. Сысуев

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

Селекционно-семеноводческий центр по зерновым и зернобобовым культурам (ССЦ)

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

(Создан в 2019 г. решением Межведомственного совета при Минобрнауки РФ по рассмотрению вопросов о создании селекционно-семеноводческих и селекционно-племенных центров).

Руководитель ССЦ – Баталова Галина Аркадьевна, заместитель директора по селекционной работе ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, академик РАН.

Направления деятельности – мобилизация, сохранение и изучение мировой коллекции зерновых и зернобобовых культур, формирование теоретических и методических основ создания новых высокопродуктивных и стрессоустойчивых сортов, разработка сортовых технологий, развитие научного сотрудничества и консультирования по проблемам создания и освоения селекционных достижений.



Результаты работы

- **Привлечение к работе молодых исследователей – 40 % в возрасте до 39 лет; повышение научной квалификации – 18 сотрудников.**



- **6 новых сортов, 7 методов и технологий по совершенствованию селекции и семеноводства, 2 базы данных генисточников.**



Переданы на ГСИ сорта:
озимая рожь Талица,
пшеница яровая Уроженка, Традиция,
ячмень яровой Красногорский,
овес яровой голозерный Нижегородец,
горох посевной Фаленский кормовой.

- **Производство оригинальных и элитных семян – 1560 т, реализация – 1360 т; партнеры ССЦ – более 30 сельхозпроизводителей РФ.**

Техника и оборудование, приобретенное в период реализации Программы, кол-во ед.

Тракторы – 2; Комбайны – 1;
Почвообрабатывающие агрегаты, сеялки – 18;
Оборудование для зерновой лаборатории – 62;
Оборудование для подработки, сушки и сортировки семян – 5;
Оборудование для создания и внедрения современных технологий – 19.





